


# NAFEMS


**Großer Online-Stellenmarkt:**  
[www.CAE-Stellenmarkt.de](http://www.CAE-Stellenmarkt.de)  
 Das neue Jobportal speziell für CAE-Ingenieure  
**Kostenlos Stellenanzeigen schalten!**

# Online-Magazin

Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete  
FEM – CFD – MKS – VR / VIS – PROZESS – SDM

## Fachbeiträge in dieser Ausgabe

### Magneto-Mechanik:

Anwendung von Finite-Element Verfahren zur Berechnung gekoppelter magneto-mechanischer Probleme  
SIMetris

### Strömungsmechanik:

Effizienzsteigernde Verfahrensweisen bei der simulationsgestützten Filterauslegung  
Fraunhofer ITWM

### Strukturmechanik:

Stochastische Simulation – Versuchsabgleich der Deformation eines Vierkantrohres  
Volkswagen/Universität Hamburg

Verifikation von FE-Berechnungen mittels 3D-Bildkorrelation  
Universität Bayreuth

Nichtlineare Dynamik einer TLP für Windturbinen – Verifizierung von Berechnungsergebnissen  
TU Freiberg/Gicon Großmann Ingenieur Consult

sowie Neuigkeiten, Veranstaltungskalender, Schulungen, ...

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter:  
[www.nafems.org/magazin](http://www.nafems.org/magazin)

### Trainingskurse – Quick-Info

Neu: Verifikation & Validierung V&V, 3.-4. Dezember  
FEM-Einführung, November 13 / Januar 14  
CFD-Einführung, November 13  
e-Learning-Kurse, [www.nafems.org/e-learning](http://www.nafems.org/e-learning)



### Nachbericht:

## NAFEMS World Congress & Int. SPDM Conference 2013

### Neuer Kurs:

## Verifikation und Validierung

### Zertifizierung:

## Professional Simulation Engineer PSE

### Events:

## NAFEMS CAE Konferenzen in Deutschland



### Sponsoren dieser Ausgabe:



## NAFEMS Magazin, eine Online-Information über Sicherheit und Zuverlässigkeit auf dem Gebiet der numerischen Simulation

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

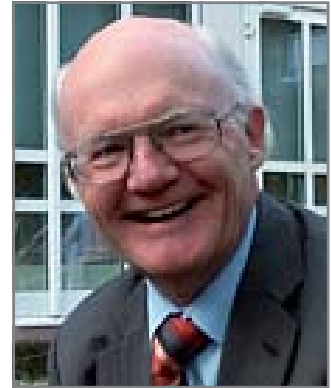
die Einbettung von Verstärkungsfasern in ein Matrixmaterial ist durchaus keine neue Erfindung. Insbesondere die Verwendung von modernen Hochleistungsfasern hat jedoch zu einem deutlich stärkeren Einsatz im Leichtbau geführt, verbunden mit entsprechenden Anstrengungen zur Simulation des Verhaltens. Der entwerfende Ingenieur sieht sich demgemäß einer steigenden Zahl von Simulationsmodellen und –verfahren gegenüber. Das liegt zum einen an der Komplexität des Materials, in dem Fasern und Matrix sich gegenseitig ergänzen, aber auch an der Vielzahl von möglichen Kombinationen der Materialien. Zudem entsteht der Verbund selbst erst mit der Aushärtung der Matrix, so dass die endgültigen Eigenschaften des Materials erst dann vorliegen, wenn der Fertigungsprozess beendet ist. Eine besondere Herausforderung stellt die Modellierung der unterschiedlichen Versagensmoden dar. Dass hierbei noch keine allseits anerkannte Lösung gefunden ist, spiegelt sich in dem World-Wide Failure Exercise wider. NAFEMS hat eine Working Group on Composites eingerichtet, die versucht, vorhandene Möglichkeiten und noch zu schließende Lücken im Bereich der Simulation von Strukturen aus Faserverbunden aufzuzeigen. Demnächst werden erste Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe veröffentlicht werden.

In seinen Fachbeiträgen befasst sich das vorliegende Heft 27 des Magazins jedoch mit anderen Aufgabenstellungen. Zunächst werden Phänomene behandelt, die sich aus der Kopplung von magnetischen und mechanischen Effekten ergeben. Als Anwendungen werden ein Leistungstransformator und ein Magnetresonanztomograph untersucht. Danach werden Möglichkeiten geschildert, mit Hilfe der Strömungsmechanik die Effektivität von Filtern zu verbessern. Zudem behandeln drei Beiträge Probleme aus der Strukturmechanik. Beim Stauchen eines Vierkantrohres, wie es zum Beispiel zur Energieabsorption im Automobilbau verwendet wird, sind gewisse Parameter nicht exakt bekannt; sie werden durch eine stochastische Simulation erfasst. Das geometrisch nichtlineare Verhalten von Tellerfedern wird mit finiten Elementen untersucht, sowohl in der 'Total Lagrange', als auch in der 'Updated Lagrange' Formulierung. Zum Vergleich sind auch Versuche unter Verwendung optischer Vermessungen durchgeführt worden. Schließlich wird noch die nichtlineare Dynamik von Offshore-Windenergieanlagen behandelt. Insbesondere die Position und Ausrichtung der Befestigungsseile hat einen erheblichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten.

Diese Auswahl aus Beiträgen zu NAFEMS Konferenzen und Seminaren gibt einen Einblick in die vielen Möglichkeiten der numerischen Simulation. Ich wünsche mir, dass auch für Sie etwas Interessantes dabei ist.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Klaus Rohwer  
Editor-in-Chief



*Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Rohwer*

Wir bedanken uns herzlich bei den Sponsoren, ohne deren Unterstützung  
ein solches Magazin nicht realisierbar wäre:



[www.comsol.de](http://www.comsol.de)

[www.simulia.com/de](http://www.simulia.com/de)



[www.dynardo.de](http://www.dynardo.de)



[www.intes.de](http://www.intes.de)



[www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com)



[www.simpack.com](http://www.simpack.com)

NAFEMS ist eine not-for-profit Organisation zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden wie FEM und CFD.

1983 in Großbritannien gegründet, hat sich die Organisation längst in eine internationale Gesellschaft zur Förderung der rechnerischen Simulation entwickelt. Mit NAFEMS ist die neutrale und von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution entstanden.

NAFEMS vertritt die Interessen der Anwender aus der Industrie, bindet Hochschulen und Forschungsinstitute in ihre Tätigkeit ein und hält Kontakt zu Systemanbietern.

### Mitglieder des internationalen NAFEMS Councils

- C. Stavriniadis (Chairman), ESA, NL
- M. Zehn (Vice Chairman), (TU Berlin), D
- R. L. Dreisbach (The Boeing Company), USA
- D. Ellis, Idac Ltd., UK
- G. Miccoli, Imamoter, I
- M. Moatamedi (University of Narvik, N)
- S. Morrison, Lusas Ltd., UK
- P. Newton, GBE, UK
- M.-C. Oghly, Flowmaster, F
- A. Ptchelintsev, Nokia, FI
- A. Puri, Selex Sensors & Airborne Systems, UK
- J. Wood, Strathclyde University, UK

Die technischen Bereiche bei NAFEMS werden durch spezialisierte Arbeitsgruppen (Working Groups) koordiniert.

### Die derzeitigen NAFEMS Working Groups sind:

- Analysis Management
- CAD CAE Integration
- Composites
- Computational Fluid Dynamics
- Computational Structural Mechanics
- Dynamics and Testing
- Education and Training
- Geotechnics
- High Performance Computing
- Multi Body Dynamics
- Multiphysics
- Optimization
- Stochastics
- Simulation Data Management
- Technical Liaison Group
- Vendor Advisory Board

Um die Aktivitäten von NAFEMS in den verschiedenen geografischen Regionen zu vertreten, neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb der NAFEMS zu vertreten, wurden sogenannte regionale Steering Committees (Lenkungsausschüsse) gebildet.

### Die Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz sind:

- Dr.-Ing. W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- Dr.-Ing. A. Gill (Ansys Germany GmbH)
- Dr.-Ing. R. Helfrich (Intes GmbH)
- Dr.-Ing. M. Hoffmann (Altair Engineering GmbH)
- Dr.-Ing. C. Hühne (DLR)
- Dipl.-Ing. G. Müller (cae concept)
- Dr.-Ing. G. Müller (Cadfem International GmbH)
- Dipl.-Ing. W. Moretti (Schindler Elevator Ltd)
- Dipl.-Ing. F. A. Muggli (Sulzer Pumps)
- Dr.-Ing. E. Niederauer (Siemens PLM Software)
- Dipl.-Ing. F. Peeters (Dassault Systèmes BV)
- Dipl.-Ing. A. Pfaff (PDTEC AG)
- Dr. A. Svobodnik (Konzept-X)
- Prof. Dr.-Ing. M. Zehn (TU Berlin/Femcos mbH)

## Mitglied bei NAFEMS?

NAFEMS hat weltweit über **1.000 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**.

### NAFEMS Mitglieder erhalten unter anderem:

- Benchmark (Internationales FEM-Magazin)
- Literatur
- Freie Seminarplätze
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 1.000 Organisationen weltweit

**Werden auch Sie Mitglied !**

[www.nafems.org/involved](http://www.nafems.org/involved)



## Impressum

### Editor-in-Chief

Prof. Dr. Klaus Rohwer,  
Deutsche Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e.V.

### Redaktioneller Beirat

Gerhard Müller  
cae concept  
Dr. Alfred Svobodnik  
Konzept-X  
Prof. Dr. Manfred Zehn  
TU Berlin / Femcos mbH

### Redaktion

Albert Roger Oswald  
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22  
roger.oswald@nafems.org

### Gestaltung / Layout / Anzeigen

Werbos GbR  
Osterham 23, D-83233 Bernau  
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22  
Fax +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 37  
Mobil +49 (0) 176 - 217 984 01  
e-mail: info@werbos.de  
www.werbos.de

### Bezugspreis / Aboservice

Kostenlos  
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22  
magazin@nafems.de

### Anzeigenpreise

Preisliste vom 29.01.2013

### Verteilung / Bezug

Per e-mail an NAFEMS Datenbasis  
DACH und als Download über www.  
nafems.org. Bezug durch Aufnahme  
in den Verteiler.

### Copyright © 2013, Werbos GbR.

Nachdruck – auch auszugsweise -, Ver-  
vielfältigung oder sonstige Verwertung  
ist nur mit schriftlicher Genehmigung  
unter ausdrücklicher Quellenangabe  
gestattet. Gekennzeichnete Artikel  
stellen die Meinung des Autors, nicht  
unbedingt die Meinung der Redak-  
tion dar. Für unverlangt eingesandte  
Manuskripte und Datenträger sowie  
Fotos übernehmen wir keine Haftung.  
Alle Unterlagen, insbesondere Bilder,  
Zeichnungen, Prospekte etc. müssen  
frei von Rechten Dritter sein. Mit der  
Einsendung erteilt der Verfasser / die  
Firma automatisch die Genehmigung  
zum kostenlosen weiteren Abdruck  
in allen Publikationen von NAFEMS,  
wo auch das Urheberrecht für ver-  
öffentlichte Manuskripte bleibt. Eine  
Haftung für die Richtigkeit der Veröf-  
fentlichungen kann trotz Prüfung durch  
die Redaktion vom Herausgeber nicht  
übernommen werden.

Alle Produkt- und Firmennamen sind  
eingetragene Waren- bzw. Markenzei-  
chen ihrer jeweiligen Hersteller.

Vorwort des Editor-in-Chief.....	2
<b>Sponsoren</b> .....	3
NAFEMS.....	4
Inhalt / Impressum.....	5
<b>NAFEMS Mitgliedschaft im Detail</b> .....	6
<b>NAFEMS Training</b>	
Schulungstermine / e-Learning / Werden Sie NAFEMS Trainer .....	7
Trainingskurs: Einführung in die praktische Anwendung der FEM.....	8
Trainingskurs: Introduction to CFD Analysis: Theory & Applications.....	9
Trainingskurs: Verifikation und Validierung (V&V).....	10
<b>NAFEMS Konferenzen</b>	
Strömungsberechnungen (CFD) in der Systemsimulation.....	12
„Best Practices“ als Voraussetzung zum effizienten CAE-Einsatz.....	13
European Conference: Coupled MBS-FE Applications.....	14
Nordic: Advanced Material Models.....	15
<b>Professional Simulation Engineer</b> .....	16 - 21
<b>Literatur</b>	
Introducing e-library / Bestellvorgang / Literaturlauswahl .....	22 - 23
Call for Contributions: Int. Journal of CFD Case Studies .....	24
<b>Projekte</b> .....	25
<b>Rückblick: NAFEMS World Congress &amp; SPDM Conference.....</b>	<b>27 - 33</b>
<b>Stellenanzeigen</b>	
P+Z / AeroFEM / NAFEMS.....	34 - 36
<b>Das Jobportal für Ingenieure: <a href="http://www.CAE-Stellenmarkt.de">www.CAE-Stellenmarkt.de</a></b> .....	37 - 39
<b>Neuigkeiten</b> .....	40 - 54
<b>Veranstaltungskalender</b> .....	55
<b>Fachbeiträge</b>	
<b>Magneto-Mechanik</b>	
<b>Anwendung von Finite-Element Verfahren zur Berechnung</b>	
<b>gekoppelter magneto-mechanischer Probleme</b>	
H. Landes, A. Hauck (SIMetris).....	56 - 66
<b>Strömungsmechanik</b>	
<b>Effizienzsteigernde Verfahrensweisen bei der</b>	
<b>simulationsgestützten Filterauslegung</b>	
O. Iliev, R. Kirsch, Z. Lakdawala, A. Zemitis (Fraunhofer ITWM)).....	67 - 74
<b>Strukturmechanik</b>	
<b>Stochastische Simulation – Versuchsabgleich der Deformation</b>	
<b>eines Vierkantrohres</b>	
G. Eichmüller (Volkswagen); M. Meywerk (Univ. Hamburg).....	75 - 87
<b>Verifikation von Finite-Elemente-Berechnungen mittels</b>	
<b>3D-Bildkorrelation</b>	
C. Wehmann, B. Alber-Laukant, F. Rieg (Univ. Bayreuth).....	88 - 96
<b>Nichtlineare Dynamik einer TLP für Windturbinen</b>	
<b>– Verifizierung von Berechnungsergebnissen</b>	
F. Adam, F. Dahlhaus (TU Freiberg); J. Großmann	
(Gicon Großmann Ingenieur Consult).....	97 - 104
Rückmeldeformular .....	105
Werbeanzeigen	
Comsol Multiphysics .....	41
esocaet.....	43
CAE-Stellenmarkt.de.....	49
sags einfach .....	26





## Membership to suit you

NAFEMS offers several membership options to suit all of those within the engineering analysis community:

### Site membership

*A full range of benefits for larger corporations based at one location*

NAFEMS site membership provides multiple benefits to your analysis team, including:

- A publication library including your chosen NAFEMS textbooks, reports, how-to guides and benchmarks
- Copies of all new publications as and when they are produced
- Places at a choice of seminars, held regularly and internationally each year
- Benchmark magazine subscription
- Heavily discounted seminars, training courses, e-learning courses and conferences
- Access to members area of the NAFEMS website which gives access to technical papers, seminar proceedings and more
- Networking opportunities with more than 1000 member companies
- Unrivalled exposure of your company within the engineering analysis arena

### Corporate membership

*Tailored membership for large companies with multiple locations*

The very nature of analysis and simulation is constantly changing as companies expand globally to meet the needs of an exponentially growing user base. Multinational corporations are at the forefront of analysis technology, and require much more from NAFEMS than standard benefits for one location.

In response to this, NAFEMS has developed a corporate membership model, aimed specifically at large multinational companies who need to share the benefits of membership over many physical locations.

Corporate Membership is tailored specifically to meet the needs of your company. This allows you to create your own NAFEMS membership which gives your company the benefits you need.

### Small company membership

*Cost-effective membership for small to medium sized enterprises*

NAFEMS recognises that being a small company has its own unique set of circumstances. This is why we can offer a cost-effective option for smaller companies with a limited budget.

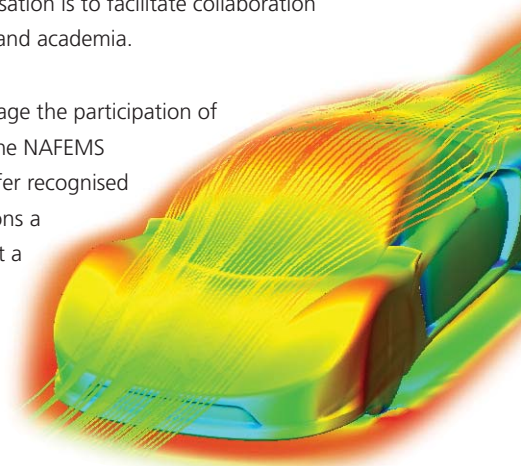
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

### Academic membership

*Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions*

NAFEMS has always worked extremely closely with the academic arena since its formation and one of the key roles of the organisation is to facilitate collaboration between industry and academia.

In order to encourage the participation of academia within the NAFEMS community, we offer recognised academic institutions a site membership at a reduced rate.



[www.nafems.org/involved](http://www.nafems.org/involved)

## Schulungstermine

### Einführung in die praktische Anwendung der FEM

Wiesbaden, D

Inhalte und Infos auf Seite 8

tba - Nov. 2013

### Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

Wiesbaden, D

Inhalte und Infos auf Seite 9

[www.nafems.org/events/nafems/2013/cfd-11\\_12-2013/](http://www.nafems.org/events/nafems/2013/cfd-11_12-2013/)

20. - 21. Nov. 2013

### Verification & Validation of Models and Analyses (V&V)

Wiesbaden, D

Inhalte und Infos auf Seite 10

<http://www.nafems.org/events/nafems/2013/vandv2/>

**NEU!**

03. - 04. Dez. 2013

### Einführung in die praktische Anwendung der FEM

Wiesbaden, D

Inhalte und Infos auf Seite 8

[www.nafems.org/events/nafems/2014/dach-fea1-14/](http://www.nafems.org/events/nafems/2014/dach-fea1-14/)

20. - 22. Jan. 2014

### Einführung in Composite-Berechnung

Wiesbaden, D

**NEU!**

Frühjahr 2014

## e-Learning Kurstermine

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings. Hier werden Grundlagen vermittelt, die für die sichere und zuverlässige Anwendung kommerzieller Softwareprogramme wichtig sind. Folgende Themen werden regelmäßig angeboten

**Fatigue & Fracture Mechanics**

**Basic & Advanced Dynamic FE Analysis**

**Advanced Dynamic FE Analysis**

**Structural Optimization**

**Practical Modelling of Joints/Connections**

**Composite FE Analysis**

**Practical Introduction to CFD**

**Basic Dynamic FE Analysis**

**Non-Linear Analysis**

**Basic FE Analysis** (Basis für „Einführung in FEM“)

**Elements of Turbulence Modeling**

**Essentials of Fluid Mechanics for CFD**

Aktuelle Termine unter: [www.nafems.org/e-learning](http://www.nafems.org/e-learning)

## Werden Sie NAFEMS Trainer

**NAFEMS Course Tutors Required**

Due to an expansion in training activities at NAFEMS, we currently require additional tutors to work with our current team on presenting and running a number of NAFEMS FEA training courses.

A typical tutor will be well-experienced in FEA across a range of industrial sectors. The tutor will be able to draw on direct experience to relate to the training material and the way it is presented. The tutor should have a background in teaching in either industry or academia. The right candidate will have a passion for FEA and have the ability to impart that to attendees.

Full details are available at [www.nafems.org/tutors](http://www.nafems.org/tutors)

NAFEMS wird das Kursangebot regional und international ausbauen und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne (nebenbei) als Referenten arbeiten möchten.

Auch im deutschsprachigen Raum möchten wir unsere Kursangebot ausbauen - wir freuen uns auf Sie.

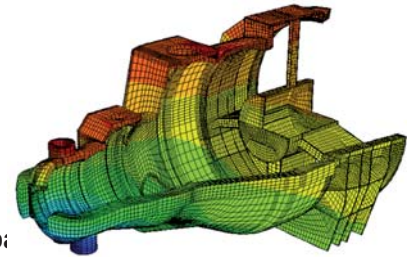
Bei Interesse senden Sie bitte eine e-mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

[www.nafems.org/tutors](http://www.nafems.org/tutors)

## 3-tägiger NAFEMS Trainingskurs FEM

# Einführung in die praktische Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM)

Nov. 2013 und 20.-22. Jan. 2014 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchb:



Der Kurs vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die notwendigen Grundlagen für den erfolgreichen und effizienten Einsatz der Finite-Elemente-Methode. Nach Auffrischung von strukturmechanischem Basiswissen, welches für das Verständnis und für die kompetente Auswertung von FE-Berechnungen unerlässlich ist, wird auf leicht verständliche Art erklärt, wie die FE-Programme arbeiten. Zahlreiche einfach gehaltene, anwendungsspezifische Beispiele aus der Industrie unterstützen die Diskussion um Voraussetzungen für adäquate Modellbildung und liefern wertvolle Tipps für die professionelle Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.

Ingenieure und Konstrukteure, welche ihre Kenntnisse in Technischer Mechanik bzw. Festigkeitslehre aus der Studienzeit im Hinblick auf die Anwendung bei FE-Simulationen auffrischen und ausbauen möchten, sind besonders angesprochen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, wodurch eine aktive Mitwirkung gefördert wird.

### Inhalte

- Einführung, Grundbegriffe und Prinzipien
  - Freiheitsgrade / Lagerung / Freischneiden / Gleichgewichtsbetrachtung
  - Innere Kräfte / Beanspruchung / Schnittgrößen
  - Spannungszustände / Hauptspannungen
- Typische Beanspruchungsfälle
- Werkstoffparameter / Versagenshypothesen / Sicherheitsfaktor
- Wechsel- und Dauerfestigkeit, Ermüdung und Kerbwirkung
- Thermische Beanspruchung
- Spannungen und Verformungen in dünnwandigen Strukturen
- Stabilitätsprobleme: Knicken und Beulen
- Grundlagen der Elastodynamik / Schwingungen / Dynamische Beanspruchung
- Modellbildung als ingenieurmäßiger Prozess / Möglichkeiten und Grenzen der Vereinfachung
- Lineare und nichtlineare Problemstellungen
- Wie funktioniert FEM?
- Typische Finite-Elemente (1D, 2D und 3D) zur diskreten Beschreibung deformierbarer Körper
- Berücksichtigung von Symmetrien bei der Modellierung
- Modellierung von Materialverhalten / Evaluation von Versagenskriterien
- Dynamische FE-Berechnungen / Modale Analyse / Dämpfung / Transiente Schwingungen
- Thermische / thermo-mechanische Untersuchungen
- Beispiele für nichtlineare FE-Simulationen
- Voraussetzungen für effiziente FE-Modelle und zuverlässige Ergebnisse
- Optimale FE-Modelle dank gezielter Nutzung der Möglichkeiten von CAD-Software
- Tipps und Tricks für problemgerechte FE-Vernetzung
- Qualitätssicherung bei FE-Analysen / Ursachen möglicher Fehler bei der FE-Modellierung und Tipps für deren Erkennung
- Möglichkeiten zur Überprüfung der Ergebnisse
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussion

### Referenten



**Dr.-Ing. Wolfgang Senger**

Herr Dr. Senger hat nach seinem Maschinenbaustudium bei einem namhaften Softwareanbieter die Anwender von FE-Programmen beraten und Schulungen gegeben. Als Abteilungsleiter Berechnung und Simulation des Ingenieurdienstleisters Semcon Rhein-Main GmbH in Rüsselsheim ist er heute verantwortlich für anspruchsvolle Berechnungsprojekte in der Automobilbranche und in anderen Industrien. Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Lösung von Fragestellungen der technischen Mechanik mit der FE-Methode. Herr Dr. Senger kann auf Grund seiner langjährigen Berufserfahrung den Schulungsteilnehmern sowohl die Theorie der FE-Methode als auch den praktischen Einsatz näher bringen.



**Dr. sc. techn.  
ETH/SIA  
Yasar Deger**

Herr Deger hat langjährige, breitgefächerte Erfahrung in der Praxis der FEM und in der Angewandten Mechanik. Er ist als Dozent für Technische Mechanik und FEM an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, in der Schweiz tätig und erteilt ausserdem seit 1992 Weiterbildungskurse / Workshops für Konstrukteure und Ingenieure in der Industrie. Sein Buch „Die Methode der Finiten Elemente“ erscheint beim Expert Verlag und ist Teil der Kursunterlagen.

### Kursprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

[www.nafems.org/events/](http://www.nafems.org/events/)

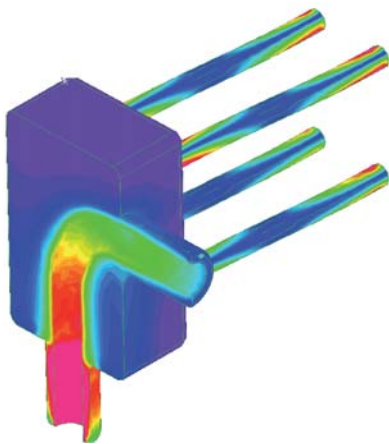


## 2-tägiger NAFEMS Trainingskurs CFD

# Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

20. - 21. Nov. in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Der Kurs vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die Grundlagen der numerischen Strömungsberechnung (CFD). Neben der Funktionsweise von Programmen, die anhand zahlreicher einfacher Beispiele erläutert wird, steht die Vermittlung des gesamten Lösungsprozesses im Vordergrund. Mit Hilfe von Beispielen wird der gesamte Prozess vom realen Bauteil über das Berechnungsmodell bis zur Interpretation der Ergebnisse gezeigt und auf mögliche Fehlerquellen hingewiesen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, die die Teilnehmer zur Mitarbeit bzw. zum Einbringen eigener Fragestellungen einlädt.



### Inhalte

- Einleitung / Übersicht
- Welche Gleichungen werden in einem CFD-Programm gelöst?
- Beschreibung der Finite-Volumen Methode zur Lösung der Gleichungen anhand von Beispielen, Darstellung von Problemen / Fehlerquellen beim Lösungsprozess

- Tipps und Hinweise zur CFD-Vernetzung
- Praktische Umsetzung: Vom realen Bauteil zum Simulationsmodell
  - Überlegungen vor der Simulation
  - Annahmen und Voraussetzungen
  - Randbedingungen
  - Gittergenerierung
  - Erläuterung der Probleme an einem Praxisbeispiel
- Qualität von CFD-Berechnungen
  - Überprüfung von CFD-Ergebnissen / Kontrollmöglichkeiten
  - Bewertung der Ergebnisse von CFD-Berechnungen
- Ausblick auf weitere Entwicklungen / Tendenzen in der CFD-Welt (FSI, Optimierung,..)
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussionen

### Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

### Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf c vorletzten Seite.

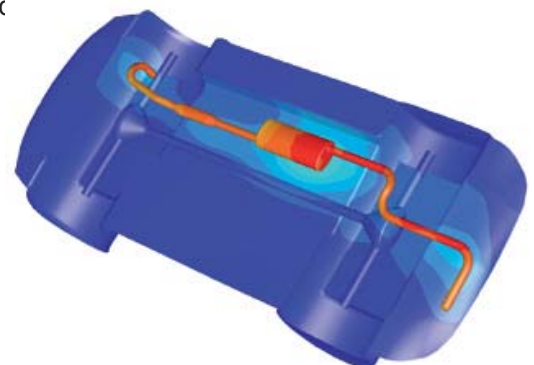
[www.nafems.org/events/](http://www.nafems.org/events/)

### Referent



Prof. Dr.-Ing. Gangolf Kohnen

*Herr Kohnen hat über 25 Jahre Erfahrung mit CAE-Anwendungen mit Schwerpunkten auf dem Gebiet der Strömungsberechnung CFD in Lehre, Forschung und Industrie. Herr Kohnen leitet den Bereich Maschinenbau und Virtual Engineering an der Hochschule Baden-Württemberg Mosbach.*



**NEU!****2-tägiger NAFEMS Trainingskurs V&V (englischsprachig)****Verification & Validation  
of Models and Analyses****3 - 4 December 2013, Wiesbaden**

Engineering simulation plays an increasing role in industry's search for competitiveness and technology based innovation at every stage of the design, qualification and certification of

products. Key decisions and product qualification/certification increasingly rely on virtual tests and digital simulation, creating a major paradigm shift in which the objective of physical tests is progressively moving from a demonstration of compliance to a reference for analysis validation. This trend in industry is shown through adoption of new terms such as 'realistic simulation' and 'virtual testing'. This situation creates new responsibility for the engineer to guarantee the required confidence level.

This new approach requires secured processes for the verification and validation of models and analyses bringing evidence of their predictive capability. In particular, programme managers now require formal evidence on "simulation fit for purpose" on which they can build confidence and take decisions. In addition, the increasing situation for extended enterprise creates new constraints to guarantee safe and robust analysis processes.

At the same time, and due to the economic pressure, V&V activities are frequently seen as an additional cost that can easily be reduced or even fully cut, thus underestimating the induced risks. In addition, V&V is not easy to implement because of the diversity of involved persons: managers, simulation experts, test specialists, software developers and quality controllers, software vendors...

**The Course**

Participants of this master class will:

- Learn how to implement reporting to bring visibility and confidence to all managers concerned with simulation outcomes.
- Develop their knowledge in V&V in full coherence with the level of expectation due in their industry context and applicable regulations
- Understand the fundamental concepts of V&V, the role and contents of standards, the existing methodologies for the implementation or the improvement of simulation and V&V plans
- Understand specific V&V requirements in the context of realistic simulation and virtual testing
- Understand how to build rational plans for V&V and related demonstrations
- Improve synergy between virtual and physical tests in the context of validation
- Learn how to build business cases allowing for justification of V&V plans
- Understand simulation management and process issues
- Learn how to implement reporting to bring visibility and confidence to all managers concerned with simulation outcomes.

**Who Should Attend?**

**This master class course is designed for:**

- Engineers and senior analysts in charge of simulation activities or preparing to take new responsibility in the management of simulation, especially with regard to V&V responsibility
- Managers in charge of engineering simulation teams and willing to improve their knowledge in V&V and in the relevant processes
- Program managers who need to make critical decisions based on engineering simulation results and that wish to increase their understanding and visibility of the required V&V activities

It is recommended that participants have a few years of experience in engineering simulation for the design and development of industrial products.

**Program**

Introduction

- Industrial context and stakes
- Simulation in the product lifecycle
- Industrial implementation of simulation

**Validation, Qualification & Certification of Industrial Products**

- Fundamentals on product validation, qualification and certification
- The analysis-test pyramid
- Virtual testing and realistic simulation

- Introduction to new technologies and TRL
- Regulations and certification in aeronautics
- Situation of the nuclear industry

#### **V&V and Simulation Management**

- Scope and complexity of the management of simulation
- Simulation management activities: software capability management / V&V / skills management / quality management / SPDM / CAD / CAE.....

#### **Realistic Simulation**

- Existing technology and new enhancements available to industry: HPC, cloud, open source, multi-scale, multi-physics....
- Connection with CAD/PLM
- Benefits and threats of realistic visualization
- Impact on V&V plans

#### **V&V Fundamentals and Standards**

- Fundamentals
- Verification
- Validation and uncertainty quantification
- Predictive maturity
- V&V process and responsibilities
- Standards
- Short history of standardization in V&V
- Main standards: ASME, AIAA, NASA...
- Other initiatives

#### **Verification**

- Verification of software codes
- Verification of algorithms

- Quality assurance for software: methodologies for SW development, regression tests...
- Verification of analyses
- Validation and Test/Simulation Synergy
- Validation process and constraints
- Physical and virtual testing collaboration
- Objectives and typology of physical tests
- Prerequisites for successful validation tests
- Predictive maturity
- Some industrial examples (aerospace, nuclear...)

#### **Uncertainty Quantification**

- Typology : random, epistemic uncertainties
- Selective methodologies for uncertainty quantification: Monte Carlo, Latin hypercube, response surfaces, polynomial chaos, "Lack of knowledge" theory (theory of misconceptions?), theory of evidence.....
- Sensitivity analysis, robustness (key parameters identification...)

#### **V&V Implementation Strategies**

- Setting-up V&V plans
- Implementation issues and obstacles
- Industrial justification (V&V business case)
- Costs, benefits and risk management
- Organization and skills

#### **Course Language**

Englisch

#### **Tutors**



**Jean-François Imbert**

*Jean-Francois Imbert has 40 years' experience in Structural Engineering, CAE/ numerical simulation, mostly in the aeronautical and aerospace sectors where he has exercised both operational, expert and management responsibilities. Throughout his career, Jean-Francois ensured the development and implementation of innovative numerical simulation capabilities in industrial contexts, mostly in Structure Analysis. In his successive responsibilities, he accumulated a unique and broad experience in simulation management and the multiple features of V&V, including validation tests and analysis /test synergy. Furthermore he has a long practice of engineering education both in academic institutions and professional seminars..*



**Philippe Pasquet**

*With almost forty years of extensive experience in engineering simulation, Philippe Pasquet has covered the full range of technical responsibility in this domain, both with research institutes and various consulting firms and software houses: development of software, development of methods, advanced studies, team management, scientific and technical management etc. Powered by his passion for pedagogy and simulation technology, he has presented at several conferences and talks at high level towards efficient use and good practices of simulation in the industry, motivating students and engineers for those fascinating engineering simulation jobs..*

[www.nafems.org/events/nafems/2013/vandv2/](http://www.nafems.org/events/nafems/2013/vandv2/)

## Einladung zum NAFEMS Seminar

# Strömungsberechnungen (CFD) in der Systemsimulation

12. - 13. November 2013 in Bamberg

In der Systemsimulation wird das Verhalten und die Interaktion von technischen Geräten mittels mathematischer Zusammenhänge beschrieben. Dabei kommen auch interdisziplinäre Kopplungen zum Tragen, welche die Einflüsse des physikalischen Verhaltens der einzelnen Komponenten eines Gerätes oder Bauteils berücksichtigen. Die mathematische Beschreibung des Verhaltens der einzelnen Bauteile wird mittels Kenngrößen und Variablenverläufe über die Zeit und über verschiedene Belastungsverläufe aufgebaut.

In der Praxis werden zur Simulation des Zusammenwirkens der verschiedenen physikalischen Disziplinen Softwareprodukte eingesetzt, in denen diese Gesetzmäßigkeiten mathematisch beschrieben werden können. Das sind in der Regel objektorientierte Modellbeschreibungssprachen, in denen die physikalischen Vorgänge beschrieben, in mathematische Modelle übertragen und dann gelöst werden. Damit ist man in der Lage, in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses bereits die ersten Erkenntnisse zu

bekommen, wie sich neue Produktkonzepte verhalten. Diese gewonnenen Informationen werden wiederum in den CAE-Prozess eingebunden.

Von großer Bedeutung ist vor allem der Einsatz der Systemsimulation zur effizienten Entwicklung von strömungstechnischen Komplettsystemen wie z. B. in der Automobilindustrie. In dieser Ausprägung der Systemsimulation kann CFD in verschiedenen Formen berücksichtigt werden. Es handelt sich dabei um 0D- und 1D-Modelle, die das strömungstechnische Verhalten von Bauteilen als mathematische Beschreibung von z. B. zeitlichen Kenngrößen abbilden. Diese Modelle und ihre Ergebnisgrößen werden dann als Randbedingungen in der zwei- oder dreidimensionalen Abbildung einzelner Bauteile oder Komponenten verwendet, um so das detaillierte Verhalten zu simulieren.

Mit den modernen Softwareprodukten können diese Verfahren so gekoppelt werden, dass auch eine Parameteranalyse ermöglicht wird, um Schwachstellen des Systems frühzeitig zu erkennen sowie Optimierungen des Gesamtsystems oder einzelner Komponenten vornehmen zu können.

In diesem Seminar werden Verfahren zur Systemsimulation strömungsmechanischer Probleme dargestellt, wie aus dem Gesamtverhalten auf das Verhalten einzelner Komponenten und umgekehrt geschlossen werden kann.

### Hard- und Softwareausstellung

Es ist weiterhin eine begleitende Ausstellung kommerzieller Software und Dienstleistungen im Umfeld der numerischen Strömungsmechanik geplant.

### Technische Koordination

Das Seminar wird vom deutschen NAFEMS Steering Committee, vertreten durch Herrn Gerhard Müller (cae concept), in Zusammenarbeit mit dem NAFEMS CFD Advisory Board (CAB) organisiert.

### Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder:

Euro 550,- zzgl. ges. MwSt.

NAFEMS-Mitglieder:

frei (3 seminar credits)

**Das Vortragsprogramm  
wird Ende September  
veröffentlicht.**

[www.nafems.org/cfd2013-2](http://www.nafems.org/cfd2013-2)





## Einladung zum NAFEMS Seminar

# „Best Practices“ als Voraussetzung zum effizienten Einsatz von CAE – Methoden, Tools, Prozessen

18. - 19. November 2013 in Wiesbaden

Die bekannten Disziplinen wie Konstruktion (CAD), Berechnung (CAE) sowie der Bereich Test arbeiten oft autonom. Bei der Produktentwicklung ist das Zusammenwirken der unterschiedlichen Bereiche (Abteilungen) dagegen von entscheidender Bedeutung und eine hervorragende Möglichkeit, sich vom Mitbewerber abzusetzen. Eine grundlegende Verbesserung erfordert eine hohe Integration der unterschiedlichen Disziplinen, mit durchgängigem Prozessablauf für eine wesentliche Steigerung der Effizienz. Dabei muss auch der Einsatz von CAE, der zur Optimierung und Verbesserung von Produkten unumgänglich notwendig ist, berücksichtigt werden. Bei global tätigen Unternehmen werden diese Aspekte zur Beschleunigung des gesamten Entwicklungsprozesses trotz wachsender Komplexität noch bedeutender. Auch zur Absicherung der Produkte dient ein strukturierter und dokumentierter, nachvollziehbarer Einsatz von CAE, um Fehler und Regressforderungen zu minimieren.

Die Integration von CAE im gesamten Entwicklungsprozess von der Konzeptphase, der Detaillierung bis zur Freigabe hat zum Ziel, dass die Abläufe und die Interfaces definiert sind, sowie die Leistungen bzw. was wann zu liefern ist klar geregelt sind. Moderne CAE Hilfsmittel werden heute durchgängig über den CAD Prozess bis zu „advanced“ CAE eingesetzt, um die Simulation bzw. Analyse und Dokumentation optimal zu unterstützen.

Das Seminar soll die „best practices“ zur Steigerung der Effizienz mittels des Einsatzes von CAE in der Produktentwicklung darstellen. Dazu gehören Arbeitsabläufe unter Einbezug von CAE, aber auch Auswahl und zielgerechter Einsatz von Softwaretools. Beispiele sind die Möglichkeiten von modernen FEM Pre- und Postprozessoren, auch bei sich wiederholenden FEM-Aktivitäten. Standardanalyseverfahren zu automatisieren mit Scripting-basierten Prozeduren ist ein weiterer wichtiger Bestandteil zur Qualitätssicherung von Simulationsaufgaben. Die CAE-Prozessautomatisierung soll die FEM-Analysen, mit allen notwendigen Material- und Kontaktdefinitionen, bei Bauteilauslegungen unterstützten von Anfang (Import von CAD-Daten) bis zum Ende (Erstellung des Berichtes).

Die prozessgesteuerte Erfassung der Eingangs- und Ergebnisdaten und der Zugriff darauf hat im Wesentlichen eine allgemeine Bedeutung im Sinn der Entwicklungskostenreduktion: keine Zeitverschwendung bei der Suche von Informationen, Wiederverwendung von bestehenden Grundlagen, Beschleunigung und Ermöglichung von Innovation durch funktionale Beurteilung von Produkten sowie die Chance einer kontinuierlichen Prozessverbesserung zum Beispiel zwischen Test und CAE. Die Dokumentation ist jedoch auch aus rechtlicher Sicht mehrfach bedeutungsvoll. Nicht zuletzt spielt sie eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit vereinbarten Leistungen und dem Betrieb der Anlage selbst, indem sie zu einem vertragsrelevanten bzw. sicherheitskritischen Sachverhalt einen Nachweis oder Beweis liefern kann.

„best demonstrate practices“ soll anhand verschiedener Anwendungsbereiche zeigen, was mit den gegenwärtigen Mitteln machbar ist und welchen Entwicklungsstand (state-of-the-art) Theorie und Software für die praktische Anwendung erreicht haben; dazu gehören Kenntnisse und Erfahrungen zur Anwendung, aufgezeigt mittels interessanter Fallbeispiele, und die Verdeutlichung der Grenzen und Möglichkeiten der Prozessautomatisierung sowie auch Anforderungen aus der Anwendersicht.

Als Anwender oder Entwickler von Methoden und Softwaresystemen sind Sie herzlich eingeladen, an dieser Veranstaltung teilzunehmen.

### Hard- und Softwareausstellung

Es ist weiterhin eine begleitende Ausstellung kommerzieller Softwareanbieter und Dienstleister geplant.

### Technische Koordination

Das Seminar wird vom deutschen NAFEMS Steering Committee, vertreten durch Herrn Werner Moretti (Schindler Elevator Ltd) und Herrn Dr. Werner Dirschmid (Consultant) organisiert.

### Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder:

Euro 550,- zzgl. ges. MwSt.

NAFEMS-Mitglieder:

frei (3 seminar credits)

**Das Vortragsprogramm wird Ende September veröffentlicht.**

[www.nafems.org/cae2013](http://www.nafems.org/cae2013)

## European Conference

# Coupled MBS-FE Applications: A New Trend in Simulation

26 - 27 November 2013, Frankfurt

For many years, engineers have recognised the need to simulate not only components submitted to different boundary conditions, but more complex systems where different components interact with each other mechanically.

Multi Body Simulation (MBS) was developed to satisfy this need, but with the goal of simulating the kinematics of multi body systems. At the same time, the classical Finite Element method was gaining further capabilities in the simulation of complex mechanical behaviours including non-linearities, both geometrical and material.

Today, those two technologies have been evolving together: MBS has gained more capabilities to introduce flexibility and even some non-linear effects in the "kinematic" description of a mechanism, whilst FE has developed the ability to take into account contact and kinematic joints. More recently, the coupling of these two methods through co-simulation has given provided solutions to another range of problems, taking advantage of both disciplines.

This conference, organized by the NAFEMS Computational Structural Mechanics and Multi Body Dynamics Working Groups, will bring together industry, academia and software vendors in order to give

the attendees a clear picture of the real capabilities of these disciplines: MBS, FE, and the co-simulation of both, through the presentation of industrial applications.

### Technical Coordination

#### *Computational Structural Mechanics Working Group*

The Computational Structural Mechanics Working Group provides a forum for everyone with an interest in Computational Structural Mechanics to discuss issues of mutual interest, while at the same time initiating and directing activities of benefit to NAFEMS members as a whole through publications, seminars, and workshops. The Group also acts as NAFEMS' technology centre in this area and interact with industry and academic experts in order to provide an authoritative response to technical issues within its remit. The Group works closely with other working groups and seeks to complement their activities. More information:

[www.nafems.org/tech/csm](http://www.nafems.org/tech/csm)

#### *Multi Body Dynamics Working Group*

Involving industrialists, consultants, vendors, and academia researchers, the Multi-body Dynamics Working Group (MBD-WG) will provide a framework for fostering discussions on the state-of-the-art of multibody

dynamics theory and for sharing lesson learnt of simulating from different applications, benchmark different multibody dynamics methodologies based on challenging and nonconventional applications, offer guidelines and recommendations to user community, suggest multibody research development based on real-life applications, highlight benefits gained using Multi-body Dynamics Software, and foster the collaborations with other NAFEMS technical working groups. More information:

[www.nafems.org/tech/mbd](http://www.nafems.org/tech/mbd)

### Hardware and Software Exhibition

An exhibition of hardware and software companies will accompany the conference.

### Delegate Fee

Non member:

Euro 695 plus VAT.

NAFEMS member:

free (4 seminar credits)

**The Conference agenda  
will be published end of  
September.**

[www.nafems.org/mbs2013](http://www.nafems.org/mbs2013)

## Invitation to Lund

# Improving Simulation Prediction by Using Advanced Material Models

5 – 6 November 2013, Lund, Sweden

Advanced material models offer tremendous potential in terms of accurate numerical model prediction. Increasing interest in different constitutive models has also been fuelled by the rising popularity of modern engineering materials such as thermoplastics, elastomers and other polymers. At the same time engineers are frequently using advanced material models to explore the behavior of conventional materials, taking account of aspects such as rate dependence, cyclic loading, creep, plasticity and damage, to name but a few. Use of these material models certainly presents many challenges.

This seminar provides an opportunity for delegates to learn how the many modeling issues related to this topic are addressed. It also provides a rare opportunity to network with peers who are faced with similar challenges and to exchange experiences within material modeling challenges and advantages.

### Technical Coordinators

Torben Hansen (Novo Nordisk) and Jan Granlund (Dassault Systèmes) both are members of the NAFEMS NORDIC Steering Committee

### Agenda – 5 November

14:00

#### Welcome

T. Hansen (Novo Nordisk); J. Granlund (Dassault Systèmes), members of the NAFEMS NORDIC Steering Committee

14:15

#### Implementing Advanced Materials Models in a Commercial Finite Element Code

L. P. Mikkelsen (DTU)

15:00

#### Beef or Chicken? On the Burden of Choosing the Appropriate Material Model

D. Steglich (Helmholtz-Zentrum)

15:30

Coffee Break

16:15

#### Variations in Material Quality: Should it be taken into Account in Simulations? In that Case, how?

T. Andersson (Solidmekanik)

16:45

#### Integration and Optimization of a 64-core HPC for FEM- and/or CFD Welding Simulations

P. Lindström (Det Norske Veritas);

A. de Blanche (University West)

17:15

#### Integrating the Injection Molding Manufacturing Process in the Package Simulation Workflow

E. Andreasson, L. Persson (Tetra Pak Packaging Solution);

H. Jacobsson (FS Dynamics);

J. Nordgren (Altair Engineering)

17:45

Come together

### Agenda – 6 November

08:30

#### Deformation and Damage Mechanisms in Thin Ductile Polymer Films

E. Andreasson, J. Jönsson (Tetra Pak);

M. Sandgren (Areva);

P. Hakansson (ÅF)

09:00

#### A Procedure to fit Multiple Element Nonlinear Rheological Models

L. Olesen (Novo Nordisk)

09:30

#### Determination and Validation of Cohesive Laws for an Epoxy Adhesive in Modus I and II

F. Stig, J. Johansson, A. Wickström (Semcon)

10:00

Coffee Break

10:45

#### New Development in a Database of Advanced Material Properties for CAE Use

C. Löfvén (EnginSoft)

11:15

#### A Constitutive In-Plane Elastoplastic Model for Paperboard Taking into Account the Effects of Pre-Straining

E. Borgqvist, M. Wallin, Matti

Ristinmaa; T. Lindström, J. Tryding

(Univ. Lund)

11:45

#### Material Models for Anisotropic Materials – an Approach from the Packaging Industry

T. Andersson (Solidmekanik)

12:15

Lunch Break

13:00

#### Plastic Composites in Multi-Scale Simulations

J. Landergren (MSC Software)

13:30 **Prediction of Long Term**

#### Durability of a Spring Loaded Thermoplastic Component

Using Material Time Scaling in an Explicit Solver for Modeling of Creep and Relaxation

T. Hansen (Novo Nordisk)

14:00

#### Wrap-Up and Farwell

### Hardware and Software Exhibition

An exhibition of hardware and software companies will accompany the conference.

### Delegate Fee

Non member:

4,800 SEK / 550 Euro plus VAT

NAFEMS member:

free (4 seminar credits)

[www.nafems.org/lund2013](http://www.nafems.org/lund2013)

## Professional Simulation Engineer

# Launched at the NAFEMS World Congress 2013



The official launch of the Professional Simulation Engineer Competencies took place at the NAFEMS World Congress. Providing a new standard for simulation engineers, the newly defined competencies incorporate thousands of individual competency statements across twenty-six technical areas and are multi-level in nature to assist simulation engineers at every stage of their career.

To complement the launch of PSE Competencies, NAFEMS announced the introduction of the PSE Competency Tracker, an online system to track and measure competency, and PSE Certification providing independent assessment and verification of competency.

### About the PSE Competency Tracker

The PSE Competency Tracker is an online system for tracking and measuring PSE Competencies.

Browsing PSE Competencies

- Access and browse the detailed list of PSE Competencies, sorted by level of competency.

Educational Resources

- Links to educational resources are provided within the PSE Competency Tracker to assist individuals in achieving the competencies. Managers may also wish to use the list of educational resources to improve training and staff development.

More than 400 suggested educational resources are listed including books, articles, codes of practice, etc., that are useful to develop the competencies described in the Tracker.

### Measuring & Tracking Competency

Using the online PSE Competency Tracker individuals can plan and monitor their development as a simulation engineer, tracking their competencies as they are achieved. Companies can do the same for their staff, creating a database of the combined simulation skills of their workforce.

**The PSE Competency Tracker can be accessed by NAFEMS members at [www.psecompetencytracker.org](http://www.psecompetencytracker.org).**

### About PSE Certification

PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of PSE Competencies by NAFEMS. The Certification requires the accumulation of competency in workplace experience in the specification, planning, execution and interpretation of numerical analysis applied to design, simulation or product verification, and adequate performance in executing these functions to a high standard. It also requires competency of an appropriate level of underpinning theoretical knowledge and sufficient product knowledge to enable the analyst to understand the context, purpose and value of his/her analysis work.

A multi-level certification scheme, PSE Certification targets the experienced analyst as well as newcomers to simulation. The experienced simulation engineer is required to present documented and attested evidence of academic and workplace competency to become certified. An appropriately qualified newcomer to simulation is expected to follow a structured training programme under the guidance of a suitably qualified Industrial Mentor.

**Apply online for PSE Certification at [www.nafems.org/pse](http://www.nafems.org/pse).**

More Information on page on the following pages.





Professional Simulation Engineer



A New Standard for  
Simulation Engineers

**NAFEMS recently launched Professional Simulation Engineer (PSE) Competencies, creating a new standard for the analysis and simulation industry.**

**PSE (Professional Simulation Engineer) Competencies define the competencies that a good analysis and simulation engineer should possess. They have been peer-reviewed over several years by NAFEMS technical working groups and external experts to create a new standard of competency for analysis and simulation.**

Encompassing twenty-six technical areas, there are more than 1400 individual competency statements to:

- enable a clear assessment of an individual's competency level
- carefully encompass important aspects of each technical area
- aid personal development

PSE Competencies are for simulation engineers at every level – from those new to the field to those with several years of experience and can be achieved through on-the-job learning as well as training courses and formal post-graduate courses.

### PSE Modules include:

- Core Finite Element Analysis
- Mechanics, Elasticity and Strength of Materials
- Materials for Analysis and Simulation
- Fatigue
- Flaw Assessment and Fracture Mechanics
- Nonlinear Geometric Effects and Contact
- Beams, Membranes, Plates and Shells
- Dynamics and Vibration
- Optimisation
- Plasticity
- Core Computational Fluid Dynamics
- Thermo-Mechanical Behaviour
- Management General
- Verification and Validation
- PLM Integration and CAD-CAE Collaboration
- Simulation Process & Data Management
- Buckling and Instability
- Multi-physics Analysis
- Composite Materials and Structures
- Fundamentals of Flow, Porous Media, Heat Transfer
- Creep and Time-Dependency
- Multi-Scale Analysis
- Probabilistic Analysis
- Noise, Acoustics and Vibro-Acoustics
- Electromagnetics
- Multi-body Dynamics



PSE Competencies are for simulation engineers at every level – from those new to the field to those with several years of experience. Specific to engineering analysis and simulation, PSE Competencies are not specific to any particular software package – creating a benchmark of competency for all simulation engineers.

**PSE Competencies can be browsed, tracked and managed using the PSE Competency Tracker.**

**Independent recognition of PSE competencies can be achieved with PSE Certification.**

## About PSE COMPETENCY TRACKER

The PSE Competency Tracker is an online system for tracking and measuring Professional Simulation Engineer competencies. The PSE Competency Tracker allows users to browse the PSE Competencies online and amend their competency record throughout their career.

Companies can use the PSE Competency Tracker to track and manage the competencies of their individual staff and pooled workforce.

There are three main functions of the PSE Competency Tracker:

### Access PSE Competencies

Access and browse the detailed list of PSE Competencies, sorted by level of competency.

### Browse Educational Resources

Links to educational resources are provided within the PSE Competency Tracker to assist individuals in achieving the competencies. Managers may also wish to use the list of educational resources to improve training and staff development.

More than 400 suggested educational resources are listed including books, articles, codes of practice, etc., that are useful to develop the competencies described in the Tracker. For each resource the corresponding list of competencies is provided.

### Measure & Track Competency

A key feature of the PSE Competency Tracker is the ability to easily track and manage the PSE competencies of individuals and pooled workforces.

The PSE Competency Tracker web based system allows the skills that are developed by individuals to be tracked and logged. This can then be used:

- by individuals to plan and monitor their career development as a simulation engineer
- by companies to do the same for their staff and to keep a database of the combined simulation skills of their workforce

## Key Features

### For Individual Analysis & Simulation Engineers...

- Access and browse the detailed list of competencies, sorted by level of competency
- Identify relevant educational resources
- Measure current competency and generate a detailed personal report identifying areas for development
- Track progress throughout career\*
- Export a PDF report to support your PSE Certification application

### For Team Managers...

- Identify staff possessing specific competencies
- Identify gaps in competency and training requirements
- Assemble an ideal project team with what-if analysis\*

### For Technical Leaders & Human Resource Managers...

- Define competency profiles for specific job roles\*
- Define competency objectives\*
- Track staff progress
- Identify training and recruitment needs
- Assist with workforce and succession planning

## Benefits

### For Individuals....

- Identify competencies relevant to your work
- Clearly evaluate personal competency level
- Identify relevant educational resources
- Identify relevant codes of practice
- Plan and achieve PSE Certification
- Reach your professional objectives

### For Companies....

- Identify competencies which are relevant to your organisation
- Demonstrate a commitment to excellence internally and to external partners
- Maintain a high level of motivation of technical staff
- Identify and retain key technical resources
- Improved staff development
- Improved recruitment and succession planning
- Increased quality, efficiency and reduced risk



PSE (Professional Simulation Engineer) Certification allows engineers and analysts to gain recognition for the accumulation of PSE Competencies.

Independently assessed by NAFEMS, the international association of the engineering analysis, modelling and simulation community, the certification enables individuals to gain recognition for their level of competency and experience as well as enabling industry to identify suitable and qualified personnel.

The Certification incorporates an extensive range of competencies across various analysis types. It is multi-level, supporting the philosophy of lifelong learning and continuous professional development. PSE Certification is suitable for both experienced engineers/analysts and those in the early stages of their professional career.

Providing a standard of competency for the international simulation community, successful applicants receive recognition as a Professional Simulation Engineer (PSE) at Entry, Standard or Advanced Level. As competencies are developed, PSEs will advance to the next level.

## PSE Certification Standard

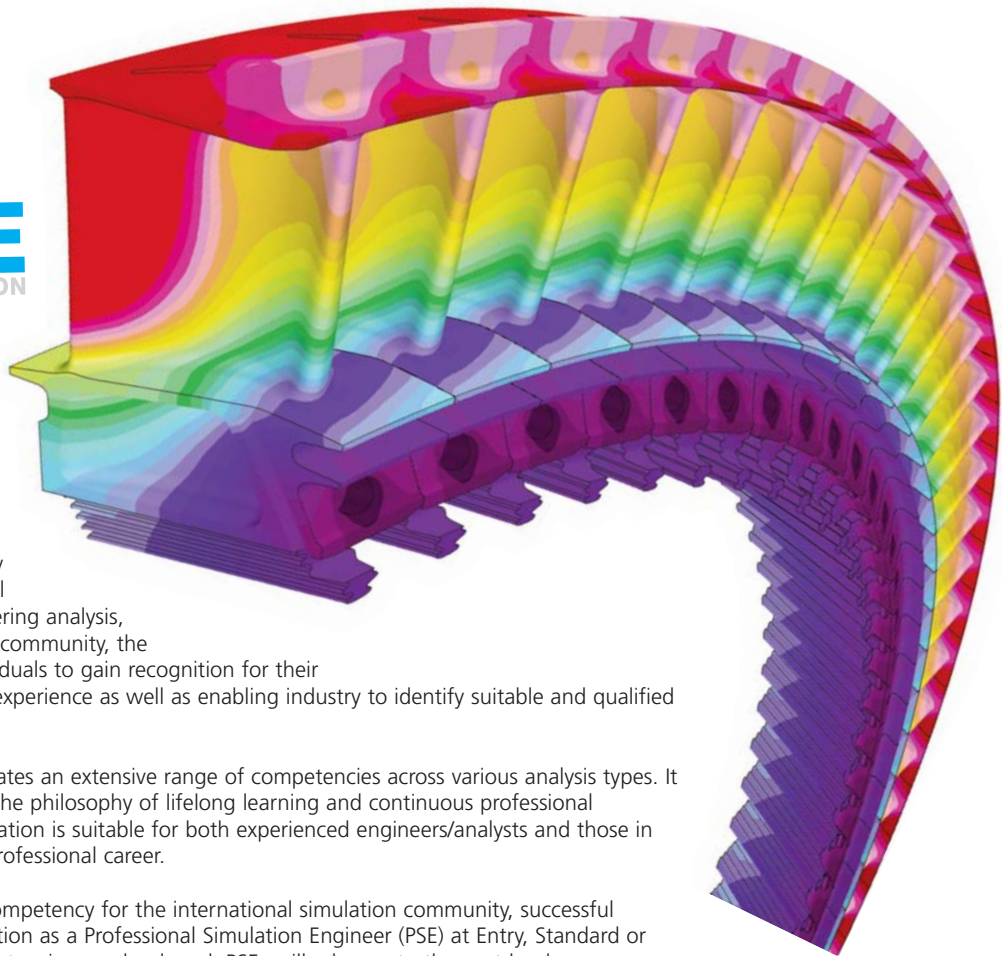
PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of workplace competency.

The Certification requires the accumulation of competency in workplace experience in the specification, planning, execution and interpretation of numerical analysis applied to design, simulation or product verification, and adequate performance in executing these functions to a high standard. It also requires competency of an appropriate level of underpinning theoretical knowledge and sufficient product knowledge to enable the analyst to understand the context, purpose and value of his/her analysis work.

PSE Certification targets both the experienced analyst and the newcomer to simulation. The experienced simulation engineer is required to present documented and attested evidence of academic and workplace competency to become certified. An appropriately qualified newcomer to simulation is expected to follow a structured training programme under the guidance of a suitably qualified Industrial Mentor.

### PSE Certification has been designed to:

- Recognise and record achievement by award of a formal certification following an independent assessment of workplace competency
- Assist companies in demonstrating the competency of staff to external organisations
- Promote best practice in engineering analysis
- Increase the pool of competent engineering analysts, thereby enhancing the competitiveness of industry
- Provide an international standard of competency for the international simulation community





## Certification Levels

Applicants can gain certification in any number of technical areas.

For each technical area, competency can be claimed at one of the following levels:

### Entry Level

- Employs available software tools in an effective manner.
- Able to work in a supervised capacity when provided with clear guidelines.
- Doesn't take on general tasks without supervision.
- Typically applies to trainees and/or technician level staff working under the supervision of a person(s) with appropriate competence who will sign off the results.

### Standard Level

- Has sufficient knowledge and comprehension of theory to employ available software tools in a safe and effective manner.
- Able to work in an independent manner without supervision.
- Conducts appropriate checks on results.
- Plans analysis strategies and validation studies.
- Is aware of their own limitations when faced with new or novel problems.
- Observes professional practices.

### Advanced Level

- Can take on a range of complex, novel tasks without supervision.
- Able to use skills and expertise to mentor others.
- Provides effective advice and guidance.
- Acknowledged as an expert.

## Benefits

Professional Simulation Engineer Certification records, verifies and independently assesses an analysis and simulation engineer's skills and competency. This makes the qualification extremely beneficial for both individuals and companies.

### Benefits for Individuals...

For individuals some of the benefits of PSE certification include:

- Achievement of distinctive and internationally recognised qualification
- A clear path for career and skill progression
- Increased value to current and future employers
- Enhanced analytical skills
- Increased confidence
- Improved self-motivation

### Benefits for Companies...

There are also a number of benefits for companies whose analysts are certified PSEs (Professional Simulation Engineers). These benefits include:

- A clear way to demonstrate the company's commitment to quality standards
- A formal record of employee competency and training satisfying the requirements of ISO 9001
- Easier recruitment of high calibre staff
- Reduced risks when employing consultants and subcontractors whose staff are Professional Simulation Engineers (PSEs)
- Increased employee motivation
- Creating and maintaining competitive edge

## who should apply?

PSE certification is designed for individuals who fit one or more of the following the criteria:

- Designers and engineers who carry out simulation to investigate product performance.
- Simulation engineers and engineering analysts.
- Engineers who are design signatories.
- Engineers who approve numerical analysis.

The certification is appropriate for analysts/simulation engineers at any point in their career. As the qualification is multi-level, it is suitable for experienced analysts and those who are newcomers to analysis.

[www.nafems.org/pse/certification](http://www.nafems.org/pse/certification)

# e library

Corporate Subscription

## NAFEMS reference library at the click of a button

**S**ubscribe to NAFEMS Corporate e-library and have instant access to over 140 of our acclaimed publications.

The NAFEMS Corporate e-library allows subscribed members to download copies of over 140 acclaimed NAFEMS publications; including the newest releases. Updated regularly, the e-library provides any of the available NAFEMS publications to be downloaded instantly as a PDF – ensuring that the information you need is available when you need it.

By subscribing, companies can create their own NAFEMS reference library - worth over \$19,500. More than 140 publications can be downloaded at any time, by any site covered by the subscription agreement. Conveniently accessed

via the NAFEMS website, there is no limit to how often publications can be downloaded, making subscription a solution for the entire team.

The easy to navigate system ensures it is virtually effortless to find the publication you require and once chosen, your publication is only a download away. There is no easier way for your company to benefit from the wealth of information that NAFEMS has published over the last 30 years.

### Find out about subscription today

Contact [elibrary@nafems.org](mailto:elibrary@nafems.org)  
or **+44(0) 1355 225 688**  
to discuss your requirements.



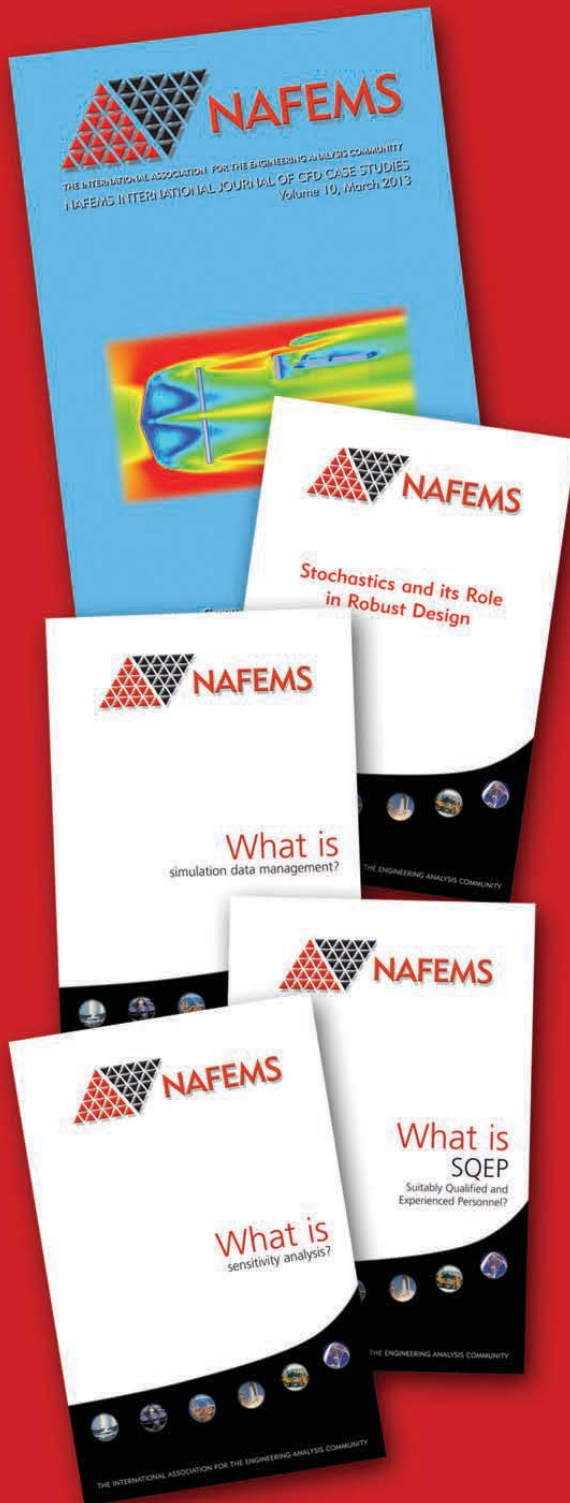
### NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

NAFEMS bietet für die Literaturbestellung die bequeme Möglichkeit über den Internet-Shop. Leider führt dies in manchen Unternehmen zu Schwierigkeiten, da eine Bestellung im Ausland umfangreichere Freigabeprozesse erfordert.

Sollten Sie Probleme damit haben oder sollte es schlichtweg einfacher für Sie sein, können Sie gerne Ihre NAFEMS Literaturbestellung über die NAFEMS GmbH in Deutschland abwickeln. Senden Sie uns einfach Ihre Bestellung mit Nennung entsprechenden Literaturnummern zu. Nach Erhalt der Bestellung senden wir Ihnen eine Rechnung zu. Nach Zahlungseingang wird die Literatur umgehend aus dem Zentrallager in UK an Sie versendet.

Wir hoffen, Ihnen damit den Bestellvorgang zu erleichtern.

# New NAFEMS Publications



International Journal of  
CFD Case Studies Vol. 10  
**Order Ref CFDJ10**

Stochastics and its Role  
in Robust Design  
**Order Ref R0107**

What is Simulation  
Data Management?  
**Order Ref WT02**

What is SQEP?  
**Order Ref WT03**

What is Sensitivity  
Analysis?  
**Order Ref WT04**

[www.nafems.org/publications](http://www.nafems.org/publications)



## Call for Contributions

# Special issue of the NAFEMS International Journal of CFD Case Studies: CFD used by Designers

Numerical simulation is now firmly entrenched in the design process. Previously, simulations followed the design process to confirm the functionality. Now it is being used to kick off the design process often at the draft or concept design stage. Engineering flow simulations are non-linear in nature and often have challenges due to modelling the flow region geometry (rather than the solid part that is modelled by CAD), turbulence (which usually must be modelled rather than directly simulated), coupled physical processes and many others. These aspects are not easy to handle and have prompted much software development to improve usability and ensure CFD is as widely used as possible. Software packages aimed at the non-CFD specialist or design engineer can, for example, automatically choose turbulence models and perform meshing for the user. Simulations performed by the designer are often used to give early understanding of relative performance of design iterations and to test out new ideas early in the design process. They may subsequently result in additional calculations by a CFD specialist, for example where a greater level of accuracy or prediction confidence is required or additional, more complex physics is present.

This special issue of the NAFEMS International Journal of CFD case studies will show how designers and other non-CFD specialists are using CFD tools and how the results are interpreted for engineering design purposes. Papers will promote the benefit of numerical simulation to and by non-CFD specialists and show how designers, by understanding further the behaviour of fluid flow and heat transfer via their simulations, can produce more effective first designs.

NAFEMS welcomes users of all CFD software products to contribute their papers. Further information about the journal can be found on the NAFEMS website at <http://www.nafems.org/about/tech/cfd/activities/journal/>. Papers for consideration should be sent to [cfd.journal@nafems.org](mailto:cfd.journal@nafems.org) and the deadline is end of January 2014. We thank all the authors in advance for their contribution.

mail to: [cfd.journal@nafems.org](mailto:cfd.journal@nafems.org)



## Participate

### Stochastics Challenge Problem Launched

NAFEMS Stochastics Working Group recently launched an Uncertainty Quantification Challenge Problem at NAFEMS World Congress. As part of the Stochastics Working Group mission to educate and promote the stochastic methods in the engineering analysis and simulation community world-wide, NAFEMS is reaching out to the industry and academia on this topic to participate in the challenge problem. Government, industry, and educational institutions are invited to participate in the hopes of sharing and showcasing different approaches to uncertainty quantification (UQ).

We would like to invite you and your company/institution to participate in this effort to solve the challenge problems. In turn, this activity will help to increase the awareness of you and your company/institution as an industry leader on the topic. In addition, final submissions of the challenge problem and solutions can be submitted for publication to NAFEMS, as well as be presented at future NAFEMS annual conferences. Download the challenge problem and register to participate at

[www.nafems.org/stochasticsproblem](http://www.nafems.org/stochasticsproblem).

## Collaboration

### Systems Simulation Working Group Launched in Collaboration with INCOSE

A new Systems Modelling and Simulation Working Group was recently formed by NAFEMS and INCOSE following on from a collaboration agreement that was formed between the two organisations in 2012. With members representing industrial and academic experts, as well as the US National Institute for Standards, the new Working Group will focus on defining and promoting systems modelling and simulation. Further details of the new working group will be available in due course.



## COGAN Project

### NAFEMS will be the co-ordinator for the 2-year European COGAN project

#### Competency in Geotechnical Analysis

The main aim of this Leonardo da Vinci European Transfer of Innovation project is to follow on from the exceptional work done during the CCOPPS and EASIT2 projects, but with the focus being on the geotechnical industry. The main outcomes from COGAN - all Arsts for geotechnical analysis – will include:

- An Educational Base to direct staa development, consisting of around 1000 Statements of Competence in about 15 topic areas, adapted from the EASIT Educational Base;
- A Competence Framework utilising the EASIT generic framework, built around the Educational Base, to allow formal recording of competence achievement, with links to wider professional/company competence frameworks;
- Two E-Learning Modules for work-based learning, to achieve in depth the learning outcomes in two selected core competencies, and to promote the development of further modules by training providers.
- The valorisation strategy, which will target training providers in Europe, together with the adoption of all deliverables by NAFEMS – a leading training provider in engineering analysis in Europe – will ensure that the project will have a significant and lasting impact on training systems in the European geotechnical sector, and potentially in the wider construction industry.

[www.nafems.org/about/projects/cogan](http://www.nafems.org/about/projects/cogan)

## Inhouse Training

# Kommunikation für Ingenieure

*„Mehrkosten in Millionenhöhe auf Grund von Kommunikationsproblemen während der Produktentwicklung.“*

Diese, zugegeben sehr reißerisch dargestellte Erkenntnis möchte kaum ein Industrieunternehmen aus internen Studien erhalten. Und doch ist es nicht unwahrscheinlich - nur die jeweilige finanzielle Tragweite mag variieren.

Wir alle Kommunizieren – immer – und überall. Die Qualität entscheidet, ob die Kommunikation hilft oder eher schadet. Wenn Chef, Controller, Einkäufer oder selbst Kollegen aus anderen Fachabteilungen verstehen würden, was Entwickler ihnen erklären, könnten manche Probleme früher erkannt und damit ggf. immense Kosten gespart werden.

Die größten Kostenfaktoren sind (vgl. NIST- Study 03/1999)

- Mangelhafte Präsentation von Konstruktions- oder Berechnungsergebnissen
- Fehler, die aufgrund mangelhafter Kommunikation zu spät weitergegeben oder gemeldet werden
- Schleppende Behandlung von Änderungen
- Konflikte zwischen Fachabteilungen
- Schlechte Abstimmung

Das Seminar "Kommunikation für Ingenieure" liefert einfache und wertvolle Werkzeuge und Hilfsmittel für eine erfolgreiche Kommunikation im technischen Umfeld und mit Nachbarabteilungen. Grundlagen der Kommunikation, des Konfliktmanagements und vor allem der Präsentation geben den TeilnehmerInnen Hilfsmittel für den täglichen Gebrauch.

Einfach und in der Sprache der TechnikerInnen vermittelt. Vorkenntnisse sind nicht erforderlich.

sags einfach e.U. Georg Schöpf  
Dürnberg 15, 4100 Otensheim - Tel +43-660-5550359  
[www.sags-einfach.at](http://www.sags-einfach.at) - [georg.schoepf@sags-einfach.at](mailto:georg.schoepf@sags-einfach.at)



Georg Schöpf

*Mein Know-how – Ihr Vorteil  
Als Trainer mit technischem Hintergrund, einer fundierten methodisch didaktischen Ausbildung und über 15 Jahre Praxiserfahrung in verschiedenen Industriebereichen vermittele ich Kommunikationskompetenz in der Sprache des Technikers.*



**nwC**2013  
NAFEMS WORLD CONGRESS

9-12 JUNE | SALZBURG | AUSTRIA

## The Heart of the Engineering Simulation Community

The NAFEMS World Congress 2013 was held in Salzburg, Austria in June 2013, and was the only independent, global conference that focuses entirely on simulation and its impact on industry and beyond.

Once again, the World Congress broke records as the single largest independent, international gathering of the engineering analysis community so far. Over 580 attendees from every corner of the globe ensured that the event represented every industry sector, technology area and software solution available.

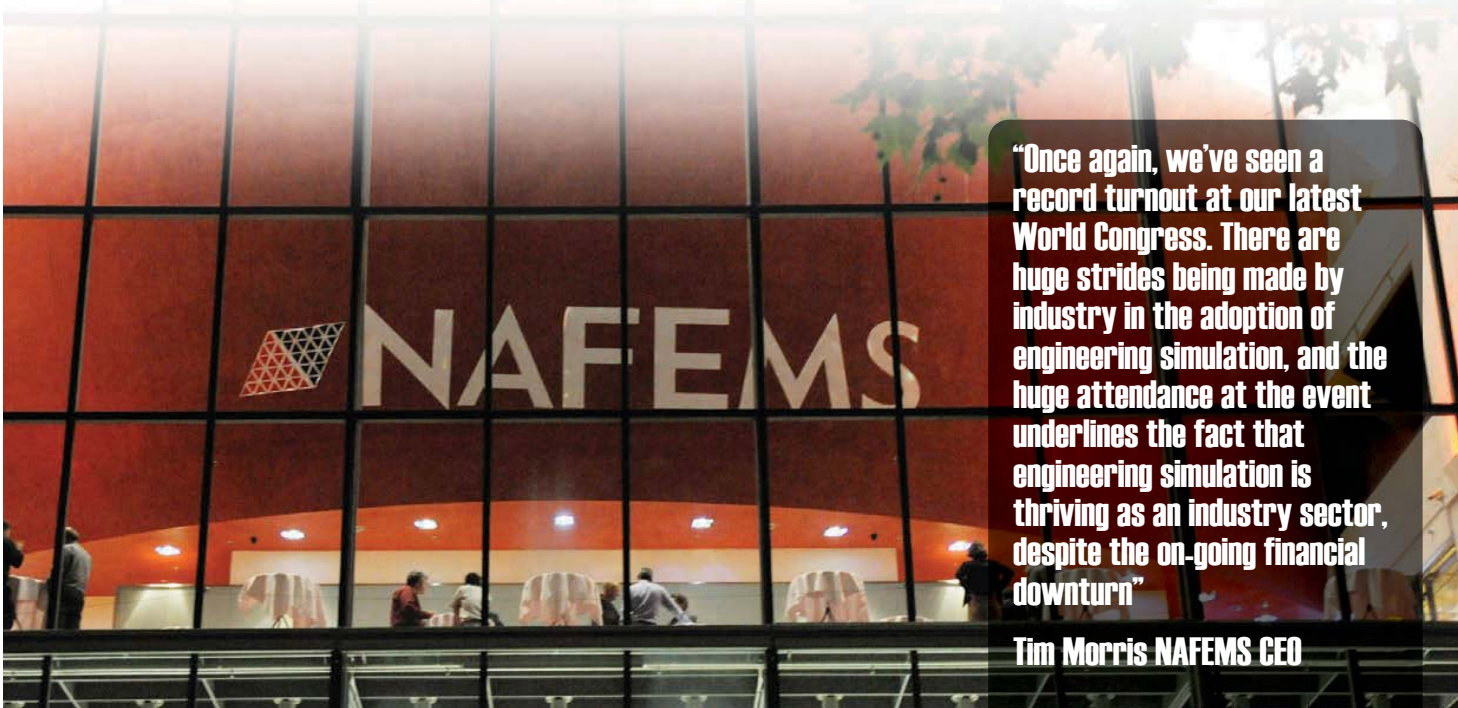
The event was supported by DS Simulia as Principal Sponsor, with additional sponsorship coming from Autodesk, Mentor Graphics and Siemens, as well as Esteco, Altair, Ansys, CEI, ESI Group, MSC Software and Phoenix Integration.

**spdm**

INTERNATIONAL CONFERENCE  
Simulation Process & Data Management

This year, the Congress also hosted the 1st International Conference on Simulation Process & Data Management, which ran alongside the main Congress. **"The enormous interest in SPDM from the industry shows no sign of abating"**, said Morris. **"The fact that an entire international conference around the subject was so popular and well attended demonstrates that this really is the next big issue for the simulation community and beyond."**

Over four days, the Congress ran as many as eight parallel tracks, focussing on topics as diverse as Fatigue, Multiphysics, HPC, CFD and many, many more. There was a full day of dedicated short-training courses, which we free to attend for all delegates, and many further training courses, discussion sessions and committee meetings took place as part of the event. **"As ever, the Congress provided this record number of delegates with a wealth of opportunities to learn, network, engage and connect with the community in a way that no other event provides"**, added David Quinn, Head of Marketing and Communications at NAFEMS. **"The 2013 Congress firmly cemented the events' position as the number one independent, international conference in the engineering simulation calendar. NAFEMS has never been more relevant within the analysis community, and in this, our 30th anniversary year, it was fantastic to see the community confirm their commitment to the organisation."** >>>>



**"Once again, we've seen a record turnout at our latest World Congress. There are huge strides being made by industry in the adoption of engineering simulation, and the huge attendance at the event underlines the fact that engineering simulation is thriving as an industry sector, despite the on-going financial downturn"**

**Tim Morris NAFEMS CEO**



<<<< The Congress also saw the official launch of the new Professional Simulation Engineer (PSE) product from NAFEMS, which will provide certification and competency tracking for individuals and companies working within the industry.

**“Since people are the most important asset of any company, the newly-launched PSE qualification scheme offers a unique capability for a company to assess and track their engineering analysis and simulation personnel,”** commented Dr. Rodney Dreisbach, Chair of the NAFEMS Americas Chapter and Senior Technical Fellow at The Boeing Company. **“The company and the individual simulation engineers can both benefit from a productivity point of view and from a career growth planning perspective.”** The launch, held on Tuesday 11th, led to a great deal of interest in the new offering, and full information can be found at [www.nafems.org/pse](http://www.nafems.org/pse).

There were a number of notable trends which were highlighted over the course of the Congress, providing the community with confirmation that they are not alone in many of the issues they deal with day-to-day. As well as an enormous interest in SPDM, which shows no sign of abating, it was very clear over the three days that huge strides are being made by industry in the adoption of engineering simulation.

**“Simulation techniques are clearly being put at the heart of the design and development process by many companies”,** added Tim Morris. **“By providing these companies with a platform and opportunity to engage with their peers, we have been able to facilitate the exchange of these experiences, which will in turn lead to the industry recognising these trends and moving forward based on user-experience.”**

The emergence of some initial convergence between systems engineering and the engineering simulation worlds and communities was also prevalent at the Congress. **“An important part of what the Congress provides is the opportunity for other communities and companies to engage fully with the simulation world”,** commented Roger Oswald, NAFEMS Congress Manager. **“It was extremely encouraging to see attendees and interest from communities and companies which would not traditionally have seen themselves as part of the simulation arena. As our industry sector thrives and expands, we are delighted to welcome these individuals and organisations to engage with NAFEMS.”**

The event itself has been widely praised for the high-calibre of technical content available. **“Our review committee, who are all NAFEMS volunteers, reviewed over 360 abstracts, and a further 260 full manuscripts to ensure that we were giving attendees the best possible level of technical content which had to be accurate, relevant, and engaging”,** added Roger. **“We thank every single one of the many volunteers, presenters, delegates and sponsors who contributed to making this event such an outstanding success.”**






# Best Paper Awards

From over 260 papers presented at the World Congress 2013, the congress committee had a difficult task in selecting the winners of the best paper awards.

The results of their deliberations are below. The winner of the 'best presented paper' award was selected by Congress attendees through voting forms collected at the end of the event - a true endorsement for the winner by their peers!

A selection of these papers will be published in upcoming issues of benchmark magazine.

**Most Innovative Use of Simulation Technology**

sponsored by 

**Parameter Identification for the Hyper-Elastic Material Modelling of Constitutive Behaviour of the Female Breast's Soft Tissues Based on MRI Data, 3-D Surface Scanning and Finite Element Simulation**

*S. Raith, M. Eder, A. Volf, L. Kovacs (Research Group CAPS, GER); J. Jalali (Technical University of Munich, GER)*



**Best Presented Paper**


sponsored by  — Mechanical Analysis

**Dynamic Simulation of Flight Test Maneuvers on the Diamond D-Jet**

*L. Van Bavel (Diamond Aircraft Industries, CAN); D. M. Holman, R. Brionnaud, M. Garcia-Camprubi (Next Limit Technologies, ESP)*



**Best Practical Use of Simulation Technology**

sponsored by 

**Mixing Process by Gas Bubbling: An Example of Model Validation for Industrial Engineering**

*H. Rouch, O. Geoffroy (Inopro, FRA)*



**Greatest Business Impact of Simulation Technology**

sponsored by 

**High Lift System Virtual Testing**

*T. Ulmer, J. Amin, P. Neuhaus (Airbus Operations, GER)*



CFD


**nwc**<sup>2013</sup>  
 NAFEMS WORLD CONGRESS

9-12 JUNE | SALZBURG | AUSTRIA

**The following is a summary, prepared by the NAFEMS CFD Working Group and the German NAFEMS CFD Advisory Board, of the CFD content and discussions at the recent World Congress.**

On Tuesday afternoon there was an open discussion on topics relating to Computational Fluid Dynamics. The session was chaired by Anthony Mosquera, member of the CFD working group, with Althea de Souza, leader of the CFD working group, and Gerhard Müller, moderator of the DACH region CFD advisory board (CAB). The session started with a brief presentation by the session chairman, Anthony Mosquera, about the NAFEMS CFD working group. This was then followed by a presentation from the moderator of the new DACH regional CFD Advisory Board, Gerhard Müller. The following topics were proposed for discussion: technical trends, requirements, role of CFD in the development process, CFD used by designers, ROI, processes, qualifications, training, quality, infrastructure, IT, cloud computing, Open Source in CFD.

The first question was about current areas that the groups are working on. For the CFD working group these include: two books on heat transfer - one a general why do and the other on radiation, a designers guide to CFD, a book on how to validate industrial CFD, a re-write of the now rather out of date guide to meshing, a book on how to analyse and process CFD output, work on the next edition of the NAFEMS International Journal of Industrial Case Studies and of course ongoing work to encourage CFD-related articles for Benchmark. There are also two seminars being planned in the UK; one on Acoustics planned for autumn 2013 and the other on Quality and Reliability for Industrial CFD (the 6th in the series) planned for spring 2014. There are also two seminars planned for Germany: CFD in system simulation, planned for 12/13th November 2013 and the next seminar will be 20/21st March 2014 and is likely to be one of the following topics: CFD for managers, CFD in the cloud or CFD for designers. Both seminars will be held in Bamberg in Bavaria.

It was explained that one of the greatest challenges faced by the NAFEMS working groups is finding authors who are suitably qualified and experienced to write publications but that also have time to do the writing. NAFEMS publications are typically written on a part-time basis, fitted around full-time work commitments and as a result, usually take several years to be completed. In recent years, as some of the more long standing members of the NAFEMS community have reached retirement, they have continued to be involved with the analysis community through NAFEMS. Anyone in the room who was either themselves in this category or who had colleagues in this category were asked to consider writing for NAFEMS. Authoring is a paid activity and most of the working groups will consider proposals from authors regardless of current invitations to tender, if the author proposes a topic they wish to write about.

There was some discussion around meshing. Some years ago, it was suggested that the CFD working group was wasting their time writing about meshing because the problem would go away (and at the time it was suggested that this was already the case for much structural analysis). However, we haven't seen this and it is still a hot topic, affecting both the quality of results and the ability to achieve solutions too. There have been changes though, many software tools have become a lot more robust and able to handle lower quality meshes, others now use semi or even fully automated meshing, sometimes entirely hiding the mesh and meshing activity from the user. We are also starting to see mesh-less tools (such as lattice-boltzmann solvers) become more widely used. However, it was agreed that some of the issues have diminished significantly, such as handling poor quality CAD, coping with large scale differences and creating sufficiently large







meshes for large problems or higher resolutions results (including those required for LES or DNS).

The group comprised of both industrial users of CFD tools and representatives of several CFD vendors and the difficulty in comparing software was raised. There was some discussion around CFD benchmarks for detailed specific applications and it was suggested that blind benchmark cases could be provided as a challenge to vendors. This will be raised as a topic for the CFD Working Group to investigate. An idea was proposed for a NAFEMS forum to allow users to post problems (applications) and ask which software could be used to simulate these cases. There was mixed enthusiasm for this as several vendors felt that users could approach them directly they would be able to work with them on their specific requirements. However, there is a challenge for the users as there are now very many CFD codes available, both commercial tools and open source or free tools and to consider all of them would be a huge task. It was pointed out that the NAFEMS website allows member companies to provide details of their software and capabilities and that it is a good place for users to start to find out more information.

Simulation quality and accuracy are important considerations when selecting the most appropriate tool to use and the importance of simulations being fit for purpose was raised. Sometimes users or even vendors can be distracted by validating simulation results, forgetting that experimental data may not be accurate or reliable or that the information available from a CFD simulation is much greater than that usually provided by measurements (all the variables at all the points are in the CFD result). Often a high level of accuracy is less important than a quick result, so a lower fidelity result that can be obtained in less time

may be more useful. Between them, the range of CFD tools available encompass this spread of requirements and it should be taken into account when selection the tools to use for any specific set of circumstances. There is a NAFEMS book available titled, 'How to ensure your CFD simulation is fit for purpose'. A possible seminar around a call for challenges could ask users to submit challenging cases and then vendors could be asked to present their fit for purpose solutions and to justify how they are fit for purpose.

The increasing demand for computing resources was noted. For aero-acoustics, in particular, turn-around times were too long and a two orders of magnitude reduction in time to solution was required. Unless there are algorithm improvements to speed up aero-acoustic calculations that are fit for purpose, reducing time for the computation would require access to more computing cores than currently used. Availability of resources on the 'cloud' was raised more generally as an opportunity for analysis calculations with both software vendors and industrial users having mixed views on how open they would be to accessing a public resource.

These topics will be considered in the meetings of the NAFEMS CFD Working group and the German CFD Advisory Board.

All participants were thanked for their participation and contributions and both the CFD working group and DACH CAB will consider the points raised in their future activities. If you would like to contact either of the groups, they can be e-mailed at [CFD@nafems.org](mailto:CFD@nafems.org) or at [CAB@nafems.de](mailto:CAB@nafems.de)





Every seat was filled for the opening session of the first International Simulation Process and Data Management Conference in Salzburg on June 10th. This reflects the strong and growing interest in ways of managing the rapidly expanding number of digital experiments carried out to refine and validate product designs.

Frank Popielas of Dana, a major automotive supply-chain company, introduced the subject of SPDM in the opening plenary session at the parallel World Congress. He stated that Simulation is the development engine in Dana's Virtual Engineering Environment and that Simulation Lifecycle Management, which underpins all simulation activities, is the most advanced form of Collaborative Product Development in the world today. In his keynote presentation he showed the congress the highly intuitive user-interfaces that his analysts enjoy, with a graph display of a simulation process and intuitive visualisation of a complex product and simulation results. A significant benefit of such intuitive user interfaces is a short training time required of engineers, only three hours.

During the SPDM Conference, Peter Coleman of Airbus introduced the six papers presented by member companies of the CRESCENDO consortium and echoed Frank's sentiments that Simulation Process and Data Management provides an essential platform for product development going forward. He explained that the ambition of CRESCENDO was to initiate a step-change in the way that Modelling & Simulation activities are carried out by distributed multi-disciplinary teams working on a Behavioural Digital Aircraft dataset – a functional Digital Mock-Up of the complete aircraft. The BDA approach employs multiple interconnected SPDM platforms to support the BDA data-model and architecture. Joint presentations by industrial partners, Rolls-Royce and Airbus, along with software vendors including SIMULIA, MSC Software and Siemens PLM, showed how the BDA approach could support collaborative simulation between partners using a variety of heterogeneous commercial SPDM tools.

The CRESCENDO presentations on the future of SPDM in Aerospace were complemented by presentations of the results already achieved by SPDM in industrial production by Airbus at Bremen and by the Chengdu Aircraft Company (CAC), the largest supplier of metallic structural parts for aerospace in China.

Jiusong Zhang of ESI presented the implementation of VDSS to support material forming simulation at CAC, integrated with PLM and a Material Database. CAC were experiencing the classic issues that modelling approaches and engineering assumptions strongly impact the results of non-linear simulations. This SPDM solution provides engineers with access to templates and best practices to ensure repeatable results. The results of forming simulations are captured in standardised formats to facilitate communication and comparison of analyses. CAC have been successful in democratising simulation to a wider engineering population. This allows simulation to be used to design a greater proportion of their tooling, so increasing tooling performance as measured by reduced defect rates and manufacturing cycle times. The system roll-out to support seven forming-process domains has been achieved within 2 years.

Jaymeen Amin presented the latest developments on the High Lift Systems Virtual Testing Portal, an implementation of SimManager used to manage the validation of the physical testing of High Lift Systems (HLS). This system has been used to support HLS flight clearance, the flight-safety-related tests before "first flight" for the Airbus A350, which took place shortly after the conference. The team presented impressive enhancements to their system in the area of results extraction and presentation. However Jaymeen commented that the development was relatively costly and not very flexible. This system implementation is a classic SDM 1.0 deployment with extensive custom developments on an SDM platform, in this case SimManager.







What is new and noteworthy at this conference is the presentation of examples of what may be thought of as SPDM 2.0 deployments as well as the SDM 1.0 and bespoke SPDM developments that have dominated SPDM practice for a decade. SPDM 2.0 is a new generation of configurable SPDM applications on SDM and PLM platforms that accelerate deployment for an expanding set of use-cases. This is described in more detail in the author's introductory presentation to the conference on the NAFEMS website.

The largest SPDM 2.0 deployment to date was presented by Marc Hertlein. BMW have replaced their customised SPDM solution after ten years of production use with the SimManager 2012 Automotive Solution. The new BMW system provides end-to-end process support to nine disciplines including crash and forming analysis, where the results of the forming analysis are re-used in crash simulations. Typically 280 users run as many as 2500 simulations per day. BMW report that they have doubled the number of vehicle programs with the same number of simulation engineers, doubling engineering throughput over a four year period. By retiring their custom developments, BMW have reduced support costs and benefit from better flexibility, re-configuring the system with internal resources. In addition, BMW can rapidly deploy configurable functionality to additional simulation domains.

A landmark presentation of an SPDM 2.0 deployment on a PLM platform was given by Thorsten Pohl of GM Opel. He described how they are deploying TeamCenter for Simulation to address the SPDM needs of GM. He described the specific architecture adopted at GM to deploy Tc4Sim into their CAE environment. Two FEA use cases are now in production, demonstrating that a successful productive use is achievable within a reasonable timeframe. Ulrich Fox presented the development of the Tc4Sim deployment at Ford and the architecture adopted. In particular, he described variant management of include-files and of modules used in multiple analyses.

On the theme of structuring model data for re-use in iterative and parallel analyses, Christophe Lemaitre of Faurecia described how extensive use of include-files combined with an impressive custom SPDM development has virtually eliminated manual data management. His

team execute up to 4000 simulations to optimise and validate a seat design. Faurecia's custom solution encompasses both numerical and physical testing and was developed by a small team in only 2 years. Two other custom SPDM developments were a Jaguar-Landrover solution for the management of geometry and CFD data presented by Daniel Wellman and a solution for Bogie simulation management presented by Thomas Moshhammer of Siemens Rail Systems. It is noteworthy that expert software developers can still produce effective and cost effective solutions in the SPDM domain.

On the topic of business value, Ravi Shankar of Siemens PLM presented his view of the benefits achievable from SPLM. Leo Kilfoy of MSC Software presented a detailed financial analysis of the benefits for medium sized companies of moving to computation on the cloud, enabled by SPLM.

Graham Harlin of Rolls Royce described an assessment of the potential value of SPDM to an Aero Engine manufacturer and the use cases such a system will need to support. Venkat Parameshwaran of Altair echoed Graham Harlin's point that business value can only be achieved by an SPDM solution that is user-friendly and imposes minimal to no overhead on analysts. The business value of SPDM, based on the NAFEMS White Paper, was taught as a short course on the eve of the conference, as was an introduction to SPDM.

This short article could not do justice to the number of high-quality papers presented at the Conference so a more comprehensive review will be posted on the NAFEMS website. These papers contribute to the substantial body of knowledge derived from the conferences dedicated to the management of simulation data and processes held by NAFEMS since 2009, both in Europe and North America. The proceedings of these conferences are also available to members on the NAFEMS website.

Mark Norris is an Industry Principal with Infosys, an engineering, simulation & PLM services provider and systems integrator. He has many years' experience of PLM consulting and solution design around Teamcenter, ENOVIA and SimManager. He is the author of the SDMWG White Paper on the Business Value of SDM and can be reached at [e.mark.norris@gmail.com](mailto:e.mark.norris@gmail.com)



Extreme  
Belastbarkeit

*Technische Berechnung & Simulation*

P+Z Engineering GmbH ist ein führender Anbieter für Entwicklungsdienstleistungen. Seit über 45 Jahren begleiten und unterstützen wir unsere Kunden in unseren Kompetenzfeldern Konstruktion, Technische Berechnung & Simulation, Erprobung & Versuch, Elektrik & Elektronik sowie Projekt- & Qualitätsmanagement.

P+Z Engineering ist mit über 280 Ingenieuren im Kompetenzfeld **Technische Berechnung & Simulation** einer der größten Anbieter von CAE-Dienstleistungen in der virtuellen Produktentwicklung und bietet seinen Mitarbeitern seit drei Jahrzehnten erstklassige Entwicklungsmöglichkeiten auf diesem Gebiet.

Um unsere Aktivitäten an unseren Standorten in München, Ingolstadt, Stuttgart, Köln, Bremen, Wolfsburg Augsburg und Hamburg weiter auszubauen und unsere technologische Entwicklung weiter voran zu treiben, suchen wir Berechnungsingenieure (m/w) für die Themengebiete:

- Strukturcrash
- Fußgängerschutz
- Insassenschutz
- Dynamik & Akustik
- Steifigkeiten & Festigkeiten
- Optimierung
- Lebensdauerbewertung
- Mehrkörpersimulation
- Strömungsmechanik
- Multiphysics-Simulation
- Thermische Berechnung

**Haben wir Ihr Interesse geweckt?** Dann senden Sie uns bitte Ihre Unterlagen mit Angabe Ihres bevorzugten Standortes, Ihres Themenschwerpunktes und folgender Referenznummer M-400-400 via E-Mail an [karriere@puz.de](mailto:karriere@puz.de).

**Unsere aktuellen Stellenangebote finden Sie unter: [www.puz.de](http://www.puz.de)**

Weitere Informationen zur Stelle, unserem Unternehmen und Ihren Entwicklungsmöglichkeiten erhalten Sie bei unserem HR-Team (Tel.: +49 (0)89 / 3 18 57-501) oder unter [www.puz.de](http://www.puz.de)



P+Z Engineering GmbH · Anton-Ditt-Bogen 3 · 80939 München  
Tel.: + 49(0)89/318 57- 501 · Fax: + 49(0)89/318 57- 355 · [karriere@puz.de](mailto:karriere@puz.de) · [www.puz.de](http://www.puz.de)  
*We are a key member of the ARRK global network.*

## Konstruktions- / Berechnungsingenieur (FH / ETH)

### Stellenangebot

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir einen Ingenieur ETH/TH oder FH der Fachrichtungen Flugzeugbau/ Maschinenbau. Das Aufgabengebiet umfasst statische und dynamische Strukturanalyse (mit FEM und klassischer Berechnung) sowie Konstruktion mit 3D-CAD. Der Schwerpunkt liegt bei Leichtbau-Strukturen.

### Ihre Aufgaben

- Konstruktion und Berechnung von Baugruppen in Zusammenarbeit mit unseren Kunden
- Konstruktionsberatung für unsere Kunden
- Unterstützung unserer Kunden in Belangen der Struktur-Festigkeit, -Stabilität und -Dynamik
- Erstellen von technischen Spezifikationen für Struktur-Komponenten
- Erstellen von Zertifizierungsdokumenten in den Bereichen Lasten, Festigkeit, Dynamik und Tests
- Definition und Durchführung von Strukturtests
- Betreuung der Herstellung von Bauteilen (Werkstatt-Betreuung).

### Ihre Perspektiven

Es erwartet Sie eine abwechslungsreiche und vielseitige Tätigkeit in einem hochmotivierten Team. Kompetente Kollegen, eine offene Firmenkultur, moderne Infrastruktur und attraktive Arbeitsbedingungen sind bei uns selbstverständlich.

### Anforderungen

- Flugzeugbau- oder Maschineningenieur ETH/TH evtl. FH, oder gleichwertige Ausbildung mit Vertiefung im Bereich Strukturfestigkeit / Leichtbau / Konstruktion
- Fundierte Kenntnisse klassischer und FEM Berechnungsmethoden und 3D-CAD
- Leistungsorientierte, innovative, dynamische und flexible Persönlichkeit
- Gute Deutsch- und Englischkenntnisse in Wort und Schrift

### Einstellungstermin

Sofort oder nach Vereinbarung

### Kontaktperson

Herr Patrice Verdan  
AeroFEM GmbH  
Aumühlestrasse 10  
CH-6373 Ennetbürgen  
Tel. +41 41 619 85 02  
[pverd@aerofem.com](mailto:pverd@aerofem.com)



**AeroFEM GmbH**  
Simulation & Engineering



# NAFEMS

## JOB OPPORTUNITY Technical Officer

NAFEMS is seeking to appoint a Technical Officer. This is a new role, the key responsibilities of which will be to:

- Co-ordinate, stimulate and inspire the fifteen committees of volunteers that currently develop the technical documentation for NAFEMS
- Gather together and implement an ongoing plan for the ongoing creation and maintenance of technical documentation
- Provide input to a policy of exploiting new forms of media for the distribution of technical information by NAFEMS
- Act as a representative of NAFEMS during the execution of externally funded projects
- Assist with the attainment of funding for future projects
- Present the technical activities of NAFEMS at conferences and seminars

The successful candidate will have a solid background in engineering and must be able to demonstrate a proven track record in the practical application of CAE techniques. The position will be based in the UK in either the Knutsford or Hamilton offices but will involve a degree of travel to attend meetings.

You will be enthusiastic and articulate and will have a strong understanding of the values and objectives of NAFEMS.

You will have excellent communication skills, both oral and written. You should be efficient and capable of working on your own initiative in carrying out your day-to-day tasks with limited need for supervision.

You will ideally have between six and twelve years of experience beyond a first degree which will have been gained across a range of different industry sectors.

Interested candidates should send their application and salary expectation to

[vacancies@nafems.org](mailto:vacancies@nafems.org)





# www.CAE-Stellenmarkt.de

Das neue Jobportal speziell für CAE-Ingenieure

Das neue Jobportal [www.CAE-Stellenmarkt.de](http://www.CAE-Stellenmarkt.de) ist seit dem 1. Mai 2012 online. Speziell zugeschnitten auf den Bereich CAE (Computer Aided Engineering) richtet die das Portal an CAE-Berechnungsingenieure sowie an CAE-Consultants, Projekt Ingenieure usw. aus Industrie, Forschung, Entwicklung und Lehre.

Auf diesem Portal bieten wir Ihnen attraktive Preise sowie ein einfaches Online-Eingabesystem für Ihre Stellenaussagen. ~~Die aktuelle Preisliste finden Sie auf Seite 25.~~ Das Portal entstand in Kooperation mit dem NAFEMS Online-Magazin. Durch die enge Kooperation erreichen Stellenanbieter speziell CAE-Ingenieure – vom Einsteiger bis zum Spezialisten.

Um den internationalen Markt zu bedienen, wird in Kürze auch eine englischsprachige Version zur Verfügung stehen. Zudem werden wir die Funktionalität kontinuierlich durch neue Features erweitern.

Und so einfach geht's:

**Aktion weiter verlängert:  
Stellen Sie auch weiterhin Ihre  
Stellenaussagen kostenlos online!**

**www.CAE-Stellenmarkt.de**  
Das neue Jobportal speziell für CAE-Ingenieure

AKTUELLE STELLENAUSGAGEN    STELLENAUSGAGEN AUFGEBEN    STELLENAUSGAGEN SUCHEM

### Willkommen beim CAE-Stellenmarkt

Schön, dass Sie unser Jobportal speziell für CAE-Ingenieure (Computer Aided Engineering) aus Industrie, Forschung/Entwicklung und Lehre gefunden haben. Das Portal wurde in Kooperation mit dem NAFEMS Online-Magazin entwickelt, dem deutschsprachigen Magazin für numerische Simulationsmethoden und angrenzender Gebiete (FEM, CFD, MKS, VR, etc.). Bitte nutzen Sie unsere Suche oder stöbern Sie direkt durch die Kategorien.

#### Neue Stellenaussagen

- Berechnungs- / Simulationsingenieur (m/w) FEM
- Berechnungs- / Simulationsingenieur (m/w) CFD
- Ingenieur/-in Technische Berechnung Elektromaschinen
- Berechnungsingenieur/in NVH/Akustik
- Ingenieur/-in Technische Berechnung Strukturmechanik

#### Stellenaussagen suchen

Suchen Sie hier nach Ihrem neuen Job. Geben Sie einfach einen Suchbegriff ein, oder nutzen Sie die Detail-Suche, um Ihre Suche noch weiter einschränken zu können.

Ihr Suchbegriff:

>>> Hier kommen Sie zur Detail-Suche ...

#### Stellenaussage aufgeben

Geben Sie hier einfach und unkompliziert Ihre Stellenaussage auf. Sie können Ihre Aussage einfach per Editor eintragen, oder schon vorhandene Stellenaussagen-PDFs hochladen. Sollten Sie Fragen haben, dann kontaktieren Sie uns einfach.

>>> Hier können Sie Ihre Stellenaussage aufgeben ...

Stöbern nach Haupt-Kategorien
Stöbern nach Sub-Kategorien

#### JOBANBIETER

Schalten Sie hier Ihre Stellenaussage und erreichen Sie CAE-Ingenieure vom Einsteiger bis zum Profi

**Buchen Sie einfach über die online-Eingabemasken Ihre textbasierte Aussage mit Firmenlogo (Standard) oder laden Sie dort ein von Ihnen gestaltetes pdf der Aussage hoch (Individuell).**

Durch die enge Kooperation mit dem NAFEMS Online-Magazin, mit NAFEMS und mit internationalen Hochschulen, Organisationen und Bildungsinstituten erreichen wir ganz speziell die Gruppe der CAE-Ingenieure, also genau Ihre Zielgruppe.

Um dem internationalen Markt gerecht zu werden, wird in Kürze auch eine englischsprachige Version des CAE-Stellenmarktes zur Verfügung stehen. Zudem wird Umfang und Funktionalität durch neue Features kontinuierlich erweitert und verbessert.

**Agenturen**  
Wir gewähren 15 % AE-Vergütung für individuelle Aussagen. Für online-Eingaben können wir leider keine Rabatte gewähren.

IN KOOPERATION MIT

**Willkommens-Bildschirm:**

Hier finden Sie einen Überblick über die Möglichkeiten und Angebote.



**Stellenanzeige aufgeben:**

Hier können Sie selbst Text und Logo (Standard) oder ein gestaltetes pdf (Individuell) hochladen. Je nach Auswahl leiten Sie Eingabemasken durch das Menü.

**Stellenangebote suchen:**

Verschiedene Suchkriterien und -optionen erleichtern die Suche.

**www.CAE-Stellenmarkt.de**  
Das neue Jobportal speziell für CAE-Ingenieure

AKTUELLE STELLENANZEIGEN    STELLENANZEIGEN AUFGEBEN    STELLENANZEIGEN SUCHEN

### Aktuelle Stellenanzeigen

- HILTI** Berechnungs- / Simulationsingenieur (m/w) FEM Standort: 86916 Kaufering nahe München
- HILTI** Berechnungs- / Simulationsingenieur (m/w) CFD Standort: 86916 Kaufering nahe München
- SCHAEFFLER** Ingenieur/-in Technische Berechnung Elektromaschinen Standort: 77815 Bühl
- SCHAEFFLER** Berechnungsingenieur/in NVH/Akustik Standort: 77815 Bühl
- SCHAEFFLER** Ingenieur/-in Technische Berechnung Strukturmechanik Standort: 77815 Bühl
- SCHAEFFLER** Berechnungsingenieur/in Strategische Modellentwicklung Gesamtfahrzeuge Standort: 91074 Herzogenaurach
- ALU CAR** CAD-Konstrukteur CATIA V5 (m/w) im Bereich Karosserie/Türen/Klappen Standort: 00000-99999 alle CSI Standorte

**Aktuelle Stellenanzeigen:**

Hier werden alle aktuellen Stellenanzeigen als Vorschau mit Logo, Titel und Standort gelistet.

**Preise und Konditionen**

	Euro / 30 Tage	Euro / 90 Tage
<b>Stellenanzeige</b>		
Online-Eingabe, je	220	300
Individuell (pdf), je	310	480
Refresh je 50 Euro		
<b>Praktikanten</b>		
Online-Eingabe, je		
Individuell (pdf), je		
<b>Mengenstarke</b>		
Bei gleichzeitiger Buchung		
Online-Eingabe, je	200	275
Individuell (pdf):		
3 und mehr Anzeigen, je	175	240
3 - 4 Anzeigen, je	280	435
5 und mehr Anzeigen, je	250	385

**Aktion weiter verlängert:  
Stellen Sie auch weiterhin Ihre  
Stellenanzeigen kostenlos online!**

**Bannerwerbung (30/90 Tage)**

Banner Leaderboard:  
Top: 300/800, Bottom: 250/670  
Banner Box:  
Top: 220/590, Bottom: 200/540

**Kombianzeige mit NAFEMS Online-Magazin**

Bei gleichzeitiger Buchung einer Stellenanzeige im NAFEMS Online-Magazin erhalten Sie eine Ermäßigung auf die Einzelplatz-Stellenanzeige.

**Agenturrabatte**

15% AE-Vergütung für individuelle (pdf) Anzeigen.

Preise pro Buchung pro Unternehmen, zzgl. ges. MwSt. Pro Stellenanzeige kann nur eine Stelle ausgeschrieben werden. Preisliste vom 31. Mai 2012. Angebote freibleibend. Es gelten unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB).

## ALTAIR ENGINEERING

### Projektmanagement Werkzeug für mehr Effizienz

Die Altair Partner Alliance gibt heute bekannt, dass sie ihr Angebot, mit der Software Project Team Builder (PTB) von SandboxModel LTD, in den Bereich Projektmanagement ausweitet. PTB hilft Managern dabei, ihre Projekte von Beginn bis zum Ende so einfach wie möglich zu organisieren und optimal zu planen. Da Projektmanagement in nahezu jeder Industrie nötig und PTB sehr vielseitig ist, kann die Software in praktisch jedem Bereich verwendet werden.

Das PTB Analytics Werkzeug wurde ausgelegt, um Projektmanagern dabei zu helfen, die Planungs- und Durchführungsrisiken ihrer Projekte deutlich zu reduzieren. Es verwendet Simulationstechnologie, um das Ergebnis eines Projektes vorherzusagen, was zu einer fundierteren Entscheidungsfindung, besseren Vorhersagen und schließlich zu besseren Projektergebnissen beiträgt. PTB umfasst zwei Module, das Scenario Builder Modul und das Simulator Modul. Mit dem Scenario Builder können die Nutzer den Problembereich durch die Erstellung eines Projektmodells definieren, im Simulator Modul werden dann die vordefinierten Projekte verwendet, um Simulationen durchzuführen.

### Erste private Cloud Plattform für CAE Anwendungen an

Altair gibt die Verfügbarkeit von HyperWorks Unlimited bekannt. Diese Lösung bietet Unternehmen eine vollständig konfigurierte Hard- und Softwareanwendung für Computer-Aided Engineering (CAE).

Altairs HyperWorks Unlimited, eine moderne, private Cloud-Lösung, ermöglicht den unlimitierten Zugang zur kompletten Altair Software inklusive aller HyperWorks Anwendungen sowie allen PBS Works Workload Management Werkzeugen. Mit HyperWorks Unlimited haben die Anwender unbeschränkten Zugriff auf alle HyperWorks Anwendungen. So wird der Zugang zu High-Performance Computing (HPC) für die gesamte CAE Gemeinde erleichtert

und der Weg für fast grenzenlose Design Exploration, wie z.B. stochastische Robustheitsuntersuchungen und Optimierungen, geebnet. Bisher war die Nutzung von Cloud Computing Lösungen innerhalb des CAE Umfeldes hauptsächlich aus drei Gründen schwierig: Erstens aufgrund der mangelnden flexiblen Skalierbarkeit der Anwendungslizenzierung nach dem aktuellen Bedarf, zweitens aufgrund der Wartezeiten, die mit dem Transfer großer Daten zwischen Clustern und lokalen Rechnern bei der Auswertung und Visualisierung dieser Daten einhergehen und drittens wegen der Sorge um die Datensicherheit bei der Verwendung öffentlicher Cloud-Systeme. Mit dem Konzept von HyperWorks Unlimited werden diese Einschränkungen überwunden. HyperWorks Unlimited ist dafür ausgelegt, Aufgaben mit massiv parallelisierten Anwendungen, wie CFD und FEA Solver, zu bearbeiten. Zudem enthält es auch Altairs Display Manager, ein webbasiertes Portal zur Daten-Visualisierung, das es ermöglicht, auf grafikintensive, interaktive HyperWorks Anwendungen zuzugreifen - selbst in Netzwerkkombinationen mit hohen Latenzzeiten. HyperWorks Unlimited ist für HPC Anwendungen optimiert und vorkonfiguriert und ermöglicht auch einen raschen Zugriff auf Pre- und Post-Prozessoren. Der komplette Service für diese Lösung kommt direkt von Altair.

Altair arbeitet bei HyperWorks Unlimited partnerschaftlich mit SGI als primärem Hardwarelieferant zusammen und bietet damit auch hardwareseitig eine Komplettlösung für Compute-, Netzwerk- und Speicherressourcen. Die ausgewiesene Erfahrung im HPC-Umfeld und die Marktführerschaft bei hochverfügbarer Hardware hat SGI zum Partner der Wahl für HyperWorks Unlimited gemacht. HyperWorks Unlimited ist ab sofort weltweit verfügbar.

[www.altair.de](http://www.altair.de)

## ANSYS

### Erfolgreiches Anwendertreffen von Cadfem und Ansys

(siehe auch Cadfem) Bei tropischen Temperaturen erlebten die rund 750 externen Teilnehmer ein erfrischendes Users' Meeting, was nicht nur an der auf Hochtouren laufenden Klimaanlage des Congress Centers Rosengarten in der Quadratesstadt Mannheim lag. Die ersten Rückmeldungen der Teilnehmer zum Konferenzprogramm mit Technologievorträgen, Anwenderpräsentationen und Kompaktseminaren sind durchweg positiv. Auch die Möglichkeiten zum Netzwerken mit anderen Anwendern, mit den 30 Ausstellern – unter anderem die Sponsoren HP, Intel und Fujitsu – und den Mitarbeitern von Cadfem und Ansys wurden intensiv genutzt. An die Abendveranstaltung im Schloss Schwetzingen werden sich viele Gäste noch lange erinnern – nicht nur wegen des heftigen Unwetters, das der tollen Stimmung aber wenig anhaben konnte.

### Emirates Team New Zealand nutzt Simulation von Ansys

Emirates Team New Zealand sah sich mit der schwierigen Aufgabe konfrontiert, schnelle Designverbesserungen an seiner Yacht vorzunehmen, um weiterhin in der Spitzengruppe mitsegeln zu können. Dies wurde durch einen zu 100 Prozent auf Simulation basierenden Entwicklungsprozess, ohne die Notwendigkeit der Konstruktion „echter“ Prototypen, erreicht. Die Ingenieure des Teams setzten Computational Fluid Dynamics (CFD)-Lösungen von Ansys ein, um verschiedene Designs virtuell durchzutesten, wobei pro Design bis zu 750 verschiedene Betriebsbedingungen berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse der Simulation führten zu einer Serie von sieben Siegen über den Rivalen im Louis Vuitton Cup, dem Team Luna Rossa aus Italien.

### Verbesserungen in Ansys HFSS

Mit zunehmender Miniaturisierung und Funktionalität elektronischer Produkte wächst auch die Notwendigkeit, eine effiziente elektromagnetische Analyse zum Bestandteil des traditionellen Elektronikdesigns zu machen. Hierzu hat Ansys jetzt sein HFSS-Tool für die 3D-Full-Wave-Simulation elektromagnetischer Felder überarbeitet und um eine Oberfläche für das elektrische 3D-Layout ergänzt. Desweiteren wurde ein planarer Method of Moments (MoM)-Löser für einen noch genaueren, optimierten Design-Workflow hinzugefügt.

Zusätzlich zu der traditionellen 3D-Modeler-Oberfläche bietet die neue Oberfläche für das elektrische 3D-Layout von Ansys HFSS Version 14.5 Service Pack 2 den Entwicklern elektronischer Hochleistungsschaltungen eine wesentlich erhöhte Nutzbarkeit. Das Update erlaubt den Entwicklern, mit einer intuitiven Layout-Oberfläche schnell und einfach anspruchsvolle elektromagnetische Simulationen durchzuführen und zuverlässige, genaue und realitätsnahe Ergebnisse vom HFSS-Löser zu erhalten. Die Oberfläche für das elektrische 3D-Layout ermöglicht auch eine effizientere Integration mit etablierten EDA-Design-Flows sowie den direkten Import von Layout-Geometrie aus Layoutdatenbanken, sowie ODB++-kompatiblen Tools wie z. B. Altium, Cadence, Mentor Graphics und Zuken.

Der neue planare MoM-Löser erlaubt den Anwendern, komplexe Berechnungen schnell durchzuführen und zu einem frühen Zeitpunkt im Design-Zyklus zahlreiche Design-Alternativen zu prüfen, wobei sie gleichzeitig auch von den ausgereiften Analysefähigkeiten von HFSS profitieren können, um das Design später zu optimieren und zu verifizieren. Funktionen zur automatischen Definition und Erstellung von Ports, zur Festlegung der Randbedingungen und der Eigenschaften von Materialschichten vereinfachen die Modellerstellung und ermöglichen den Benutzern einen einfachen Entwurf ihrer elektronischen Produkte mit der Möglichkeit vollständiger Parametrisierung von Stackups, Padstacks

und Übertragungsleitungen, sowie andere Arten von planaren Strukturen und Übergängen.

[www.ansys-germany.com](http://www.ansys-germany.com)

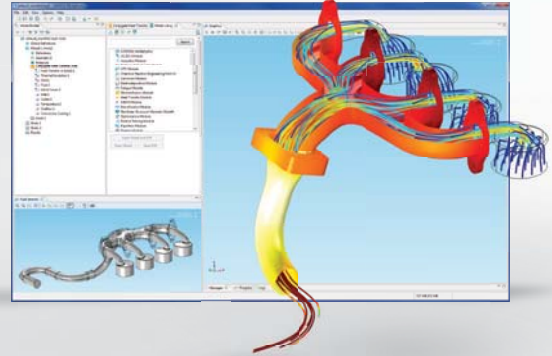
### BETA CAE

#### Neue ANSA & $\mu$ ETA Version

BETA CAE Systems S.A. die neue Version von ANSA &  $\mu$ ETA v14.1.3 für 17. September angekündigt.

[www.beta-cae.fr](http://www.beta-cae.fr)

**WÄRMETRANSPORT:** Abgase aus einem Motor werden durch einen Krümmer geleitet. Das Modell zeigt die Temperaturverteilung auf der Oberfläche und die Stromlinien des Gases in der Rohrleitung.



## Analysieren und Optimieren mit COMSOL Multiphysics®

COMSOL Multiphysics unterstützt Sie bei der Verwirklichung innovativer Ideen. Die Kombination aller relevanten physikalischen Effekte in einer Simulation ermöglicht eine präzise Analyse Ihres Designs. Erfahren Sie mehr unter [www.comsol.de](http://www.comsol.de)

© Copyright 2012-2013 COMSOL



### CADFEM

#### AXA Maschinenbau setzt auf Simulationslösung von Cadfem

Die AXA Entwicklungs- und Maschinenbau GmbH, die sich auf die Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Bearbeitungszentren sowie maßgeschneiderten Produktionsanlagen spezialisiert hat, setzt im Bereich der Simulation jetzt die von Cadfem angebotene Software Ansys ein.

AXA aus Schöppingen im West-



münsterland sieht die Faktoren Flexibilität, Stabilität und die eindeutige Ausrichtung an den Kundenanforderungen als Erfolgsgaranten. Eine ausgesprochen hohe Fertigungstiefe, aber auch die Fähigkeit, andere Technologien in die eigenen Konzepte zu integrieren, versetzt das 1965 gegründete Unternehmen AXA mit heute rund 350 Mitarbeitern in die Lage, die Kundenwünsche sowohl national als auch international erfüllen zu können.

„Da wir mit der bisher eingesetzten Software-Lösung für die Simulation schnell an die Grenzen gestoßen sind – beispielsweise konnten wir keine Mehrkörpersimulation durchführen – suchten wir eine Software, mit der wir möglichst intuitiv arbeiten können, die sehr robust funktioniert und mit der wir auch für die Zukunft gerüstet sind“, beschreibt Markus Bense, Dipl.-Ing. Maschinenbauinformatik, der bei AXA für die Auswahl der Simulations-Software zuständig war, die Situation Anfang des Jahres 2012. Auch wenn es um die Vernetzung der Geometrien zur Vorbereitung der FEM-Berechnungen ging, verweigerte die bisherige Software schon bei einfachen Aufgaben ihren Dienst.

Bei der Suche nach einer leistungsfähigen Alternative überzeugte die von Cadfem angebotene Simulationslösung Ansys durch ihre schnell erlernbare Bedienung, eine gute Projektorganisation, den umfassenden technischen Support durch Cadfem sowie durch eine einfache Informationsbeschaffung aus Foren und Literatur. „Uns gefiel das Konzept der Ansys Workbench von Anfang an besonders gut, denn es unterstützt ein wirklich strukturiertes Arbeiten“, betont Markus Bense. „Außerdem waren für uns die Verbreitung der Software sowie der Umfang und die Kompetenz der technischen Unterstützung ebenfalls sehr wichtig. Das alles haben wir mit der Ansys Software bei Cadfem gefunden.“

### **Erfolgreiches Anwendertreffen von Cadfem und Ansys**

(siehe auch Ansys) Bei tropischen Temperaturen erlebten die rund 750

externen Teilnehmer ein erfrischendes Users' Meeting, was nicht nur an der auf Hochtouren laufenden Klimaanlage des Congress Centers Rosengarten in der Quadratestadt Mannheim lag. Die ersten Rückmeldungen der Teilnehmer zum Konferenzprogramm mit Technologievorträgen, Anwenderpräsentationen und Kompaktseminaren sind durchweg positiv. Auch die Möglichkeiten zum Netzwerken mit anderen Anwendern, mit den 30 Ausstellern – unter anderem die Sponsoren HP, Intel und Fujitsu – und den Mitarbeitern von Cadfem und Ansys wurden intensiv genutzt. An die Abendveranstaltung im Schloss Schwetzingen werden sich viele Gäste noch lange erinnern – nicht nur wegen des heftigen Unwetters, das der tollen Stimmung aber wenig anhaben konnte. Weitere Informationen unter [www.usermeeting.com](http://www.usermeeting.com).

[www.cadfem.de](http://www.cadfem.de)

### **CD-ADAPCO**

#### **CD-adapco übernimmt Red Cedar Technology Incorporated**

Bill Clark, CD-adapcos Executive Vice-President gab heute die Übernahme von Red Cedar Technology Incorporated bekannt. CD-adapco ist der größte private CFD fokussierte Systemanbieter im Bereich Berechnung und Simulation. Red Cedar ist der Entwickler der Heeds Multidisciplinary Design Optimization Software. Durch diese Übernahme erweitert CD-adapco mit Heeds MDO seine eindrucksvolle Bandbreite an CAE-Simulationstools, die Star-CCM+, Star-CD, Battery Design Studio und Speed mit einschließt. Dieser Schritt untermauert CD-adapcos konsequente Linie, das Portfolio beständig weiter zu entwickeln, um den Ingenieuren eine Systemanalyse im Hinblick auf die Gesamtkonstruktion zu ermöglichen.

Red Cedar Technology wird als hundertprozentige Tochtergesellschaft von CD-adapco mit Bob Ryan als Präsident und CD-adapcos Executive Vice-President Bill Clark in der Rolle des CEO agieren. Heeds wird

als allgemeine Prozess- und Designoptimierungssoftware, die mit allen gängigen CAD- und CAE-Softwares gekoppelt werden kann, weiterentwickelt werden.

„Ich bezweifel, dass diejenigen, die unsere Entwicklung beobachtet haben, über diesen Schritt erstaunt sind,“ sagt CD-adapcos Executive Vice President Bill Clark. „Während der letzten 5 Jahre haben wir unsere Lizenzierungsstrategien im Vergleich zur allgemeinen CAE-Lizenzierung dahin weiter entwickelt, damit sie unseren Kunden die Durchführung multidisziplinärer Designstudien ermöglicht, die alle physikalischen Einflüsse, die auf das potentielle Produkt in der realen Welt wirken könnten, mit einbezieht. Bis heute hat uns in unserer Strategie noch ein effizientes Prozessautomatisierungs- sowie leistungsstarkes Optimierungswerkzeug gefehlt. Die Übernahme von Red Cedar Technology eröffnet unseren Kunden die Möglichkeit, den Wert der Simulationstechnologie durch die Optimierung potentieller Designs innerhalb des kompletten „Designspace“ zu testen.“

„Diese Übernahme ist die natürliche Weiterführung unserer bereits mehr als 12-monatigen strategischen Partnerschaft, die CD-adapcos Kunden bereits in diesem Zeitraum geholfen hat, die Integration ihrer CFD-Software mit anderen CAD- und CAE-Softwares zu realisieren und multidisziplinäre Designoptimierung zu ermöglichen“ sagt Red Cedars President Bob Ryan. „Schon seit Beginn unserer Zusammenarbeit haben CD-adapco und Red Cedar Technology die gleiche Vision, und uns wurde bewusst, dass wir zusammen mehr als alleine erreichen können.“

#### **Ehrung für außerordentliche Erkenntnisse**

CD-adapco, der größte CFD-fokussierte Systemanbieter im Bereich Berechnung und Simulation wurde mit dem höchsten Preis bei dem diesjährigen Solid State Electrochemistry Workshop 2013, der an der Heidelberger Universität stattfand, ausgezeichnet. Den Preis bekam CD-adapco für seine neuesten Er-



kenntnisse im elektrochemischen Bereich beim Zerfall einer porösen Elektrode innerhalb von Lithium-Ionen-Batterien. Hauptthemen des Workshops waren mathematische Modellierung sowie numerischen Verfahren innerhalb elektrochemischer Systeme, welche in einer synergetischen Weise Hand in Hand gehen, als auch die neuesten Entwicklungen im Bereich experimenteller Technik und relevanter Stoffe. In dieser Studie ging es hauptsächlich um den Einsatz der Finite-Volumen-Methode, um das Verhalten einer vorab wiederhergestellten Geometrie einer porösen Elektrode zu simulieren. CD-adapco benutzte für diese Arbeit sein CAE-Hauptprodukt Star-CCM+. Hier der Link für den Einblick in die gesamte Studie: [http://www.cd-adapco.com/technical\\_document/3d-micro-structural-electrochemistry-model](http://www.cd-adapco.com/technical_document/3d-micro-structural-electrochemistry-model).

Bob Spotnitz, Co-Autor und Präsident von Battery Design LLC sagte: „Detaillierte Studien zu porösen Elektroden wird ein immer wichtiger Bereich und aus dieser Gruppe Anerkennung zu bekommen ist sehr positiv.“ Weiterhin meint Spotnitz: „Mit Hilfe des Tools, welches wir zusammen mit CD-adapco entwickelt haben, ist dies nun auch für den durchschnittlichen Elektrochemiker möglich.“ Gaetan Damblanc, Battery Application Specialist bei CD-adapco fügte hinzu: „Wir glauben, dass diese Arbeit die Spitze der modernen Simulationstechnologie darstellt und zukünftig tiefere Einblicke in die Entwicklung der Elektroden der nächsten Generation gewähren wird.“

[www.cd-adapco.com](http://www.cd-adapco.com)

## COMSOL

### Comsol und Fujitsu mit gemeinsamer Lösung für F&E

Die Comsol Multiphysics GmbH und die Fujitsu Technology Solutions, bzw. die ict GmbH, ein 100%iges Tochterunternehmen von Fujitsu, gehen eine Kooperation mit dem Ziel ein, eine einfach zu verwaltende Komplettlösung für Wissenschaftler und Ingenieure anbieten zu können.



Grafik: dpa/Agentur für Foto: Illman - Fotolia

Berufsbegleitend zum Master of Engineering

## Applied Computational Mechanics

- Sie sind** ▶ Berechnungsingenieur, Konstrukteur oder Bachelorstudent
- Sie wollen** ▶ sich fachlich weiterqualifizieren oder mehr über die Theorie und Anwendung der computergestützten Simulation lernen
- Wir bieten** ▶ Ihnen ein zweijähriges berufsbegleitendes, akkreditiertes Studium. Sie erwerben praxisorientiertes Wissen in allen CAE-Disziplinen und profitieren von einer intensiven Lernatmosphäre in kleinen, internationalen Studiengruppen.
- Wir sind** ▶ zwei profilierte deutsche Hochschulen mit dem Fokus auf angewandte Wissenschaften im Verbund mit einem renommierten Anbieter für CAE-Weiterbildung
- Mehr Infos** ▶ Anja Vogel  
Tel. +49 (0) 80 92 / 70 05 - 52  
oder [www.esocaet.com/studium](http://www.esocaet.com/studium)

HOCHSCHULE  
FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN FH  
INGOLSTADT



**esocaet**  
european school of  
computer aided engineering  
technology

Cosmol steuert hierbei die Software für multiphysikalische Modellierungen bei, Fujitsu die dafür ideal zugeschnittene Infrastruktur einschließlich Managementumgebung im ‚Ready-to-Go‘-Ansatz. Zusammen wird die Lösung als RTG+ bei der Cosmol Multiphysics GmbH direkt oder einem Fujitsu Select Expert HPC Partner erhältlich sein.

„Die Partnerschaft mit Fujitsu bietet den Anwendern von Cosmol viele Vorteile“, sagte Dr. Bernhard Fluche, Geschäftsführer der Cosmol Multiphysics GmbH. „Basierend auf Benchmarkmodellen überzeugt neben unserer leistungsfähigen Software das optimierte Gesamtlösungspaket.

RTG+ von Fujitsu beinhaltet alles was unsere Kunden benötigen. Von der Hardware bis zur vollständigen Integration in den Betriebsprozess der Entwicklungsabteilungen. Alles ist enthalten. Es ist ein großer Schritt, dies für die Simulationsprojekte unserer Kunden anbieten zu können.“

Der Launch dieser Lösungsplattform findet auf der diesjährigen International Supercomputing Conference (ISC) 2013 in Leipzig statt, auf der sich Anwender, Entwickler und Interessenten auf dem Cosmol Stand detailliert über die Lösungsplattform für Forschung und Entwicklung informieren können.

Heutzutage spielen numerische Simulationen in der modernen Produktentwicklung innovativer Unternehmen eine entscheidende Rolle. Durch virtuelles Prototyping können Entwicklungskosten und -zeiten gesenkt, das Risiko von Fehlentwicklungen reduziert und die Produktqualität gesteigert werden; essentiell um im Markt wettbewerbsfähig zu sein. Der Einsatz numerischer Simulationen in Forschung und Entwicklung ist branchenübergreifend und vielfältig. Typische Anwendungen reichen von Strukturmechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik, Strömungsmechanik und chemischer Verfahrenstechnik bis hin zur Multiphysik, bei der

verschiedene physikalische Phänomene voll gekoppelt simultan gelöst werden. Die Simulationsplattform Cosmol Multiphysics bietet hierfür ein modernes, intuitiv bedienbares Modellierungswerkzeug.

Da die ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen immer komplexer und umfangreicher werden, steigen damit auch Anforderungen an die Simulationsumgebung. Fujitsu verfügt über jahrzehntelange Beratungskompetenz und bietet ein breites Angebot an High Performance Computing (HPC) Lösungen, mit denen rechenintensive Modellierungen einfach und performant ermöglicht werden.

Der Service umfasst weit mehr als die Beratung bei der Auswahl optimaler Konfigurationen und Lizenzmodelle. Bevor überhaupt Entscheidungen zum Einsatz von Multiphysik-Simulationen für Entwicklungsprozesse getroffen werden, beraten Cosmol-Experten Unternehmen bezüglich Machbarkeit und Umfang der geplanten Modellierung.

Applikationsschulungen und eine intensive Betreuung während der Evaluierungsphase ermöglichen eine fundierte Entscheidungsgrundlage über Investitionen für Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

[www.comsol.com](http://www.comsol.com)

## DASSAULT SIMULIA

### Dassault Systèmes übernimmt Safe Technology

Dassault Systèmes hat die Übernahme der Safe Technology Ltd, führender Hersteller von Software zur Analyse der Betriebsfestigkeit und Vorhersage der Lebensdauer vorhersage bekannt gegeben. Safe Technology Ltd hat weltweit über 500 Kunden, darunter Firmen wie General Motors, Caterpillar, Cummins, Emerson Climate Technologies, Honda Jets, Harley Davidson Motor Company und Hyundai Motors. Der Kaufpreis wurde bislang nicht veröffentlicht.

### Dassault Systèmes übernimmt SFE

(siehe auch SFE) Die SFE GmbH wurde von Dassault Systèmes übernommen wurde und wird Teil der „3DExperience“. Die SFE Produkte, vor allem SFE Concept und SFE Akusmod, werden heute weltweit geschätzt und eingesetzt. Die Produkte werden weiterhin sorgfältig gepflegt und intensiv weiterentwickelt. Das SFE-Team in Berlin garantiert die Qualitätssicherung und die innovative Weiterentwicklung auch zukünftig uneingeschränkt. Gemeinsam ist es uns möglich, den Entwicklungsprozess von der frühen Auslegungsphase bis hin zur Fertigung durchgängiger, bewertbarer und schneller zu gestalten. Der Paradigmen-Wechsel von der sequentiellen CAD – CAE hin zur simultanen CAD – CAE Verknüpfung ist somit leistbar. Die Integration der SFE-Produkte in das umfangreiche Produktportfolio von Dassault Systèmes wird die Simulationskette bereichern. Dies gilt sowohl für die linearen Analysen (z.B. NVH) als auch für die nichtlinearen Analysen (z.B. Crash). Die parametrische Simulationsgeometrie als Ergebnis der SFE- Technologie wird mit den Simulationsprodukten von Dassault Systèmes im Umfeld von Simulia sowohl in interaktiven als auch in geschlossenen Variantenzyklen direkt bewertbar. Die funktionsbewertete Geometrie kann direkt in eine Catia Referenzgeometrie für den nachgeschalteten Fertigungsprozess umgewandelt werden. Letzteres wird sowohl in Catia V5 als auch in Catia basierend auf der 3DExperience Plattform umgesetzt sein.

[www.3ds.com](http://www.3ds.com)

## DYNAMORE

### Beteiligung an Entwicklungs- und Forschungsprojekten

Durch die Affinität zu grundlagenorientierter Methodenentwicklung in der Simulationstechnik ist die DYNAmore GmbH, Gesellschaft für FEM Ingenieurdienstleistungen, als mittel-ständisches Unternehmen häufig Ansprechpartner bei öffentlich ge-förderten Projekten. In den Bereichen Automobil-, Luftfahrt- und Au-tomatisierungsindustrie sind dies in der Regel methodische Entwicklungsprojekte, die gemeinsam mit Hochschulen, Forschungseinrichtungen und weiteren Unternehmen durchgeführt werden. Im Bereich der Softwareentwicklung arbeitet DYNAmore in Förderprogrammen mit, die gezielt innovative Softwareprojekte unterstützen, beispielsweise aus den Bereichen der Struktursimulation oder der Fluid-Struktur-Interaktion. In diesem und in den folgenden Jahren wird DYNAmore unter anderem an vier Entwicklungs- und Forschungsprojekten im Bereich der Modellentwicklung von Werkstoffen und Herstellungsverfahren beteiligt sein.

Im ZIM-Projekt „Swim-RTM“ sollen Algorithmen und Werkzeuge zur produktionstechnischen Auslegung von Bauteilen mittels der RTM-Methode (Resin-Transfer-Molding) entwickelt werden.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt „T-Pult“ geht es um die Entwicklung von Softwarewerkzeugen zur simulationstechnischen Abbildung der Herstellungsprozesskette von pultrudierten Faserverbundwerkstoffen unter Verwendung von Thermoplasten bis hin zu deren Ge-brauchstauglichkeitssimulation in kurzzeitdynamischen Anwendungen.

Weiterhin ist DYNAmore an zwei vom RFCS (Research Fund for Coal and Steel) geförderten, europäischen Forschungsvorhaben be-teiligt: Das erste Projekt namens „Enfass“ hat zum Ziel, vorhandene Potentiale bei der Herstellung und im Einsatz höchstfester Stähle (AHSS)



‚benchmark‘, the industry respected magazine, is the only truly independent publication geared towards the analysis and simulation community.

Published quarterly by NAFEMS, benchmark includes submissions and news from all areas of engineering simulation throughout the globe.

Respected industry-wide as the only truly independent publication focusing specifically on analysis and simulation, benchmark has been published since 1987, and has a controlled circulation of NAFEMS members and subscribers. Articles span all areas of simulation from FEA to CFD, encompassing all industries from aerospace to bio-medical engineering.

NAFEMS Members can access an archive of published articles here. Details of how to submit articles and advertise in the magazine are also available at [www.nafems.org/publications/benchmark/](http://www.nafems.org/publications/benchmark/)

Subscribe now!

im Fahrzeugbau weiter auszubauen und eine breitere und noch prognosesicherere Anwendung in der Simulation zu ermöglichen. Im zweiten Projekt „Twip4EU“ soll ein neues Konstitutivmodell zur Berechnung von TWIP-Werkstoffen (Twining Induced Plasticity) entwickelt werden. Hierzu Dr. André Haufe, Leiter Prozesssimulation bei der DYNAMORE GmbH: „Durch die enge Kooperation mit Kunden und Partnern innerhalb von Forschungsvorhaben mit einem definierten Entwicklungsziel, lassen sich aktuelle Herausforderungen in der Simulation strategisch angehen. Insbesondere das starke, gemeinsame Interesse aller Projektpartner an wirtschaftlichen und prognosefähigen Lösungen wirkt dabei als treibendes Element und hat sich in der Vergangenheit als sehr guter Weg zur Weiterentwicklung unserer Softwarewerkzeuge erwiesen. In den hier vorgestellten Projekten wird zudem die Entwicklungsrichtung in der Fahrzeugindustrie hin zu leichteren Modellen bei gleicher oder sogar besserer Steifigkeit und Crashperformance deutlich, die wir auf Simulationsseite als kompetenter Ansprechpartner unserer Kunden selbstverständlich begleiten müssen. Hierfür die notwendigen Ressourcen zu schaffen, ist uns Wunsch und Verpflichtung zugleich.“

Die Firma DYNAMORE steht für exzellente Unterstützung bei der numerischen Lösung nichtlinearer physikalischer Problemstellungen. Das Produktportfolio umfasst die Finite-Elemente-Software LS-Dyna, den Pre- und Postprozessor LS-PrePost und die Optimierungssoftware LS-OPT sowie zahlreiche FE-Modelle für die Crashsimulation (Dummies, Barrieren, Fußgänger, Menschmodelle, ...). Schwerpunkte sind Support, Vertrieb, Schulung, Ingenieurdienstleistung, Software-Entwicklung und Systemintegration. DYNAMORE ist eine der ersten Adressen für Pilot- und Entwicklungsprojekte zur Simulation nichtlinearer dynamischer Problemstellungen.

[www.dynamore.de](http://www.dynamore.de)

## ESI

### CEM Solutions 2013 im Bereich Computational Electromagnetics

Die ESI Group gab die Veröffentlichung von CEM Solutions 2013 bekannt. Die unter einer einheitlichen Oberfläche voll integrierte Lösung für alle Aspekte des Computational Electromagnetics (CEM) wurde für Ingenieure entwickelt, die sich mit der sicheren elektromagnetischen Auslegung von Produkten befassen. Die steigende Anzahl elektronischer Systeme und Subsysteme in Alltagsprodukten – von PKWs und Flugzeugen bis hin zu Haushaltsgeräten – erhöht deutlich die Komplexität bezüglich ihrer elektromagnetischen Kompatibilität. Hinzu kommt, dass Hersteller verpflichtet sind, bestimmte internationale elektromagnetische Verträglichkeitsrichtlinien (EMV) zu erfüllen. Im Zuge ihrer Bemühungen, Zeit zu sparen und Kosten zu kontrollieren, haben Hersteller die Bedeutung erkannt, frühestmöglich im Entwicklungsprozess Verträglichkeitsprobleme zu erkennen und den EMV-Standard zu erfüllen – Anforderungen, die durch die Implementierung der richtigen Simulationslösung leicht zu erfüllen sind und eine frühe Bewertung von Entwicklungsmodellen ermöglichen. Genau das bietet ESI mit ihrer neuen Software Suite CEM Solutions 2013. Es handelt sich dabei um eine vollständige und durchgängige Lösung für Computational Electromagnetics. Die Software integriert die wichtigsten Berechnungstechniken und unterstützt gleichzeitig Kopplungs- und Hybridtechniken, um so ein komplettes virtuelles Prototyping zu ermöglichen. Sie wurde maßgeschneidert für EMV-Experten (interne Verkabelung und elektronische Ausrüstung) aller Industrien, Ingenieure für aktive Sicherheit (Radar-Geräte) und Infotainment in der Automobil-Industrie sowie Entwicklungsingenieure für die Tarnkappen-Technologie in der Luftfahrt- und Verteidigungsindustrie. CEM Solutions 2013 beinhaltet die PAM-CEM Simulation Suite, ESIs fortschrittliche 3D Explicit-Software für eine schnelle Untersuchung

elektromagnetischer Phänomene, die aus der weitverbreiteten Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich entwickelt wurde.

Die Simulationsmöglichkeiten reichen von der Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit (Electromagnetic Compatibility, EMC) bis hin zu elektromagnetischen Interferenzen (Electromagnetic Interference, EMI), elektromagnetischer Strahlung (Electromagnetic Radiation, EMR) und elektromagnetischer Störanfälligkeit (Electromagnetic Susceptibility, EMS) bei elektronischen Systemen oder Produkten. PAM-CEM bietet einzigartige Kopplungsmöglichkeiten, die eine multi-skalare Bewertung elektromagnetischer Phänomene im mittleren und höheren Frequenzbereich ermöglichen.

CEM Solutions 2013 beinhaltet ebenfalls die Efield-Lösungen, eine vereinheitlichte Modellierungsumgebung für Zeit- und Frequenz-Bereiche. Efield, seit 2012 Teil von ESI Group, unterstützt das Design und die Integration von Antennen (bei PKWs, Flugzeugen oder Schiffen), das Mikrowellen-Design sowie die Entwicklung von Radar-Signaturen von Militärfahrzeugen und -schiffen, Tarnkappen, das „Electromagnetic Hardening“ (Schutz gegen elektromagnetische Strahlung) und die Abschirmung elektromagnetischer Quellen.

[www.esi-group.com](http://www.esi-group.com)

## IBM

### 25 Jahre IBM AS/400

IBM erinnert an das fünfundsiebzigste Jubiläum der Markteinführung der IBM AS/400-Systeme. Die hochintegrierte Serverlinie für Unternehmen, welche mit möglichst wenig Verwaltungsaufwand eine Vielzahl kaufmännischer Aufgabenstellungen erledigen wollen, hat sich bis heute hunderttausendfach verkauft und lebt in Form der IBM Power Systems zusammen mit der integrierten Betriebssystemplattform IBM i weiter. Die AS/400 wurde am 21. Juni 1988 als gemeinsame Weiterentwicklung der IBM Midrange-Systeme Sys-



tem/36 und System/38 auf den Markt gebracht. Im Jahre 2000 wurde die AS/400 im Rahmen der IBM eServer-Produktfamilien-Einführung in iSeries umbenannt, im Jahr 2007 wurden die Computer zum System i. Die Verschmelzung mit der System p-Serverfamilie führte zu den heutigen Power Systems. Die Produktfamilie steht für herausragende Kompatibilität, hohe Verbreitung bei mittelständischen und größeren Unternehmen und verhältnismäßig geringen Administrationsaufwand. Durch die Integration von Datenbank und Betriebssystem sowie von Haus aus vielen bereits vorinstallierten Funktionen hat die AS/400 bereits vor einem Vierteljahrhundert das Konzept der heute verbreiteten Appliances vorweggenommen. Sogar die aktuelle Linie der hochintegrierten IBM Puresystems führt den Gedanken der AS/400 in anderem Kontext plattformübergreifend weiter.

[www.ibm.com](http://www.ibm.com)

## INTES

### Rotordynamik mit Permas Version 14

Rotoren werden in Maschinen und Fahrzeugen sehr häufig eingesetzt und sind vor allem für deren Schwingungsverhalten von erheblicher Bedeutung. Angesichts großer Anstrengungen im Leichtbau praktisch aller Branchen können durch Rotoren induzierte Schwingungen immer weniger vernachlässigt werden. Im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung ist somit die korrekte Vorausberechnung von Rotoren sehr wichtig, insbesondere wenn auch nichtdrehende Teile wie Gehäuse mit berücksichtigt werden müssen. Zur Lösung dieser Aufgabe hat Intes in den vergangenen Monaten Berechnungslösungen in Permas entwickelt, welche den Anwendungsbereich der Rotordynamik stark erweitern. Dabei wurde das Ziel erreicht, elastische Rotoren aus 3D-Elementen mit nichtdrehenden 3D-Teilen gekoppelt zu berechnen und nichtlineare Charakteristiken der koppelnden Lager einzubezie-

hen. Dazu können sowohl Rotoren als auch nichtdrehende Teile in einem raumfesten Koordinatensystem verwendet werden.

Damit ist es möglich, ein vollständiges Campbell-Diagramm in einem Berechnungslauf und bei geringer Rechenzeit zu ermitteln. Dynamische Antwortberechnungen im Zeit- und Frequenzbereich sind insbesondere modal (aber auch direkt) möglich und durch passende Reduktionsverfahren auch für große Modelle in annehmbarer Rechenzeit realisierbar. Aktive Dämpfung lässt sich über Regler einbeziehen und integrierte Optimierungsverfahren für Form- und Dimensionsparameter lassen sich unmittelbar nutzen.

[www.intes.de](http://www.intes.de)

## IMH

### IMH forscht am Gewächshaus der Zukunft

Mit dem neu entwickelten Konzept des High Tech Greenhouse 2020 werden innovative Lösungen auf dem Gebiet von Klima, Energie, Licht, Substrat und Wasser untereinander zu einem integralen System für Hightech-Unterglasanbau kombiniert. Siebzehn innovative niederländische und deutsche Unternehmen und Wissensseinrichtungen arbeiten diesbezüglich zusammen. Dem Projekt wurde eine Interreg-Förderung zuerkannt und auch die Provinz Limburg sowie das Ministerium für Wirtschaft, Landwirtschaft und Innovation EL&I beteiligen sich an der Finanzierung. Es geht dabei um ein gesamtes Investitionsvolumen von 3,4 Millionen Euro, wovon mehr als eine Million von den siebzehn Projektpartnern finanziert wird:

<http://www.hs-niederrhein.de/forschung/imh/aktuelles/pressemitteilung-htg/>. Das IMH modelliert und simuliert die Strömung und den Wärmetransport im Gewächshaus und trägt so zur Steigerung der Energieeffizienz bei.

[www.hs-niederrhein.de](http://www.hs-niederrhein.de)

## ISKO ENGINEERS

### CISS.S - Seitencrash-Erkennung mittels Körperschall

Anfang Juli wurde der Abschlussbericht zum Thema „CISS.S - Seitencrash-Erkennung mittels Körperschall“ an die Bayerische Forschungsförderung übersendet. Die ISKO engineers AG war als Projektpartner beteiligt und inhaltlich zuständig für die FEM-Simulationen im Projekt, das an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Ingolstadt unter der Leitung von Professor Brandmeier lief. Ziel von CISS.S war es, mittels Körperschallmessung durch frühzeitiges Erkennen eines Seitencrashes zu einer verbesserten Airbag-Auslösung während eines Unfalls zu kommen. Ein weiteres Projektziel bestand zudem in der Weiterentwicklung eines Simulationsverfahrens für die Ausbreitung von Körperschall im Fahrzeug. Die Aufgabe des Arbeitspaketes, das von der ISKO engineers AG bearbeitet wurde, bestand in der FEM-Simulation und Bewertung von verschiedenen konstruktiven Maßnahmen in der Fahrzeugseitenstruktur und deren Auswirkung auf die Entstehung und Ausbreitung des Körperschallsignals. Durch diese Simulationen und einhergehende Versuche an der Hochschule konnte aufgezeigt werden, dass die Crashzone signifikant an der auswertbaren Körperschallmission beteiligt ist. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Konstruktionsrichtlinien abgeleitet, die die Entstehung und Übertragung des Körperschalls positiv beeinflussen. Im Laufe des Forschungsvorhabens wurde auf beiden Seiten umfangreiches Knowhow hinsichtlich Körperschallsimulation aufgebaut. Zudem intensivierte sich im Rahmen des Projektes auch die Zusammenarbeit mit der Hochschule Ingolstadt, was sich mittlerweile in der Durchführung von Praktika und der Betreuung von Abschlussarbeiten zeigt.

[www.isko-engineers.de](http://www.isko-engineers.de)

## LMS

**LMS Test.Lab Version 13  
Fahrzeuggeräusche**

LMS, seit kurzem als Geschäftsbereich von Siemens PLM Software ein Unternehmen der Siemens AG, bringt eine neue Version von LMS Test.Lab auf den Markt. Die Version 13 der weit verbreiteten Entwicklungssuite zur Testdatenerfassung und -analyse richtet sich an Entwicklungs- und Testingenieure im Fahrzeugbau und umfasst neue Lösungen für Betriebsfestigkeitstests sowie die Analyse und Optimierung von Akustik und Schwingungsverhalten. Vor allem ein neuer Entwicklungsansatz für Vorbeifahrt- Geräuschoptimierung (Pass-by Noise), erweiterte Funktionen für die Vibroakustik und eine vollständig integrierte Lösung zur kooperativen Datenverwaltung werden Testabläufe beschleunigen und exaktere Ergebnisse liefern. Die Funktionen zur Optimierung von Geräusch, Vibration und Rauheit (NVH) von Hybrid- und Elektrofahrzeugen wurden ebenfalls verbessert.

Mit der Effizienzsteigerung von Motoren und der Verbesserung der Technologien im Antriebsstrang stellen sich den Entwicklungsabteilungen in der Automobilindustrie neue Herausforderungen. Parallel werden neue Konzepte im Bereich der Hybrid- und Elektrofahrzeuge entwickelt. Im Fokus der Entwicklungsarbeit stehen weiterhin Produktqualität, effiziente Prozesse und Gewichtsreduktion. Damit neue Fahrzeuge den Markenwert erhöhen und die charakteristischen Merkmale einer Marke beinhalten, werden effiziente Testumgebungen immer wichtiger: „LMS Test.Lab wurde gezielt für eine effizientere Durchführung von Tests entwickelt. Damit kann die Produktivität von Versuchsanlagen erheblich gesteigert werden“, sagt Bruno Massa, Vice President der LMS Test Division. „Mit Version 13 von LMS Test.Lab erweitern wir die Suite um neue Fähigkeiten und Funktionen zur Produktivitätssteigerung.“

Ein Beispiel dafür sind neue Möglichkeiten zur Reduktion von Vorbeifahrtgeräuschen. Mit neuen Zertifizierungsverfahren und niedrigeren

Lärmgrenzwerten ändern sich die Standards für die Schallemissionen vorbeifahrender Fahrzeuge grundlegend. LMS Test.Lab Rev 13 verbindet klassische frequenz- und zeitbereichsbasierte Messungen im Rahmen der Transferpfadanalyse mit PBN-Messungen und eröffnet damit einen völlig neuen Weg zur Ermittlung von Schallquellen-Beiträgen: Entwickler können ganz leicht nachvollziehen, welche Subsysteme im Verhältnis zur Fahrzeugposition am meisten zum Gesamtschallpegel beitragen. Der neue Ansatz liefert im Handumdrehen Ergebnisse. Sämtliche internen oder externen PBN-Messungen lassen sich innerhalb von zwei Tagen abschließen.

Auch für Strukturuntersuchungen stellt LMS Test.Lab ein außergewöhnlich umfassendes Funktionspektrum zur Verfügung, mit dem sich Genauigkeit und Produktivität noch steigern lassen. Version 13 erweitert die Möglichkeiten zur ordnungsbasierten Modalanalyse und verbessert die modale Parameterschätzung mit einer neuen Version von LMS PolyMAX. Darüber hinaus ermöglicht das neue Release Modalanalysen auf Basis von Daten aus Messungen mit Dehnungsmessstreifen.

Die Version 13 von LMS Test.Lab bringt verbesserte Funktionen zur Schallquellenermittlung, die leistungsstarke Verarbeitungstechnologien mit optimierter Arraydefinition verbinden. So können Entwickler einzelne Schallquellen leichter identifizieren und trennen. Für Akustiktests wurde das Portfolio der Transferpfadanalyse ausgebaut: Version 13 erweitert den Frequenzbereich und ermöglicht Analysen im Zeitbereich für höhere Frequenzvariablen. Vollständige Lösung für die Datenverwaltung Version 13 von LMS Test.Lab verbessert die Erfassung, Kommentierung, Speicherung und den Austausch von Entwicklungsdaten mit einer vollständigen Lösung für die Datenverwaltung. Alle Daten werden nun auf einem zentralen Server abgelegt und stehen allen Mitarbeitern der Entwicklungsabteilungen bei Testanalysen und

Ergebnisinterpretation in Echtzeit zur Verfügung. Ein Thin Client sorgt für die Zusammenarbeit und den Datenzugriff von jeder mobilen Internetverbindung aus.

Erweiterte Funktionen für die Entwicklung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen sind ein weiteres Plus der Version 13 von LMS Test.Lab. Im Zuge der unaufhaltsamen Entwicklung auf diesem Gebiet stehen Testingenieure in den Bereichen Akustik und NVH vor neuen Aufgaben. Geräusche, die bei konventionellen Fahrzeugen durch Motorgeräusche und anderen niederfrequenten Schall überdeckt werden, sind bei Elektrofahrzeugen wahrnehmbar und stören. Mit Version 13 von LMS Test.Lab können Wind-, Abroll- oder Nebengeräusche, die in der Fahrgastzelle störend wahrgenommen werden, leichter erfasst und quantifiziert werden. Darüber hinaus lassen sich NVH-Probleme mit neuen Funktionen lösen. Ein typisches Beispiel bilden hochfrequente Tonkomponenten, wie sie Wechselrichter zur Regelung von Wechselstrommotoren durch Pulsweitenmodulation erzeugen.

[www.lmsintl.com](http://www.lmsintl.com)

## MSC.SOFTWARE

**MaterialCenter: Maßstäbe für die  
Verwaltung von Werkstoffen**

MSC Software Corporation hat die Veröffentlichung von MaterialCenter bekannt gegeben. Diese neue Software verwaltet den Lebenszyklus von Werkstoffen und ermöglicht, Materialprozesse und -daten über den gesamten Produktlebenszyklus unternehmensweit zurückzuverfolgen. MaterialCenter geht einen Schritt weiter als traditionelle Methoden der Verwaltung von Materialdaten. Das System wurde von Grund auf mit dem Ziel konzipiert, die hohen Anforderungen an Integration und Skalierbarkeit von ICME (Integrated Computational Materials Engineering), der Schnittstelle zwischen Werkstofftechnik und virtueller Produktentwicklung, zu erfüllen. Die Software ist nicht nur in die Lösungen von MSC Software integriert,



# www.CAE-Stellenmarkt.de

Das neue Jobportal speziell für CAE-Ingenieure

**Aktion weiter verlängert:  
Stellen Sie auch weiterhin Ihre  
Stellenanzeigen kostenlos online.**

sondern auch in Simulationswerkzeuge anderer Hersteller. So kann MaterialCenter durch die Möglichkeit zur virtuellen Entwicklung neuer Werkstoffe Kosten für die Durchführung physischer Tests senken.

Die browserbasierte, konfigurierbare Schnittstelle ist einfach zu bedienen und ermöglicht die Implementierung erforderlicher Zugriffskontrollen im gesamten Unternehmen. Die Integration von Pre- und Post-Prozessoren zur Bearbeitung von CAD- und CAE-Geometrie erhöht die Effizienz in der Produktentwicklung und begünstigt die Konsistenz in den verschiedenen Entwicklungsgruppen.

#### **Nastran 2013 mit integrierter Lebensdaueranalyse**

MSC Software Corporation gab die Veröffentlichung von MSC Nastran 2013 bekannt. Die neue Version zeichnet sich vor allem durch neue Anpassungsmöglichkeiten, eingebettete Lebensdaueranalyse sowie eine Erweiterung des Funktionsumfangs aus, die bei Simulationsabläufen im Automobil- und

Luffahrtbereich zu einer erheblichen Zeitersparnis führen. Die wichtigsten Neuerungen sind eine eingebettete Lebensdaueranalyse, modellierung poroelastischer Materialien, erweiterte nichtlineare Funktionen, explizite nichtlineare Funktionen sowie im Bereich High Performance Computing.

#### **Marc 2013 für erweiterte nichtlineare Simulationen**

MSC Software Corporation stellte die neue Version Marc 2013 vor. Die neuen Funktionalitäten von Marc unterstützen Berechnungsingenieure, hochgradig nichtlineare Eigenschaften von Produkten und Bauteilen effizient und einfach zu simulieren. Zu den wesentlichen Verbesserungen von Marc 2013 zählen effizientere Kontaktanalysefunktionen, neue Materialmodelle, erweiterte Funktionen für die Schadensanalyse und mehr Benutzerfreundlichkeit, die den Arbeitsaufwand bei der Modelerstellung reduziert.

[www.mssoftware.com](http://www.mssoftware.com)

#### **NVIDIA**

#### **Weltweit größtes, künstliches neuronales Netzwerk**

Zusammen mit einem Team der Stanford University hat Nvidia das weltweit größte, künstliche neuronale Netzwerk erschaffen, um den Lernprozess des menschlichen Gehirns zu modellieren. Es ist 6,5mal größer als das Google-Netzwerk, das 2012 errichtet wurde und bis dato den Rekord hielt.

Computerbasierte neuronale Netzwerke sind in der Lage zu „lernen“, wie sie das Verhalten des Gehirns modellieren können – inklusive der Erkennung von Objekten, Charakteren, Stimmen und Tönen wie es die Menschen tun.

Nach wie vor ist die Erschaffung von großformatigen neuronalen Netzwerken extrem rechenintensiv. Google zum Beispiel nutzte ungefähr 1.000 CPU-basierte Server beziehungsweise 16.000 CPU-Kerne, um sein neuronales Netzwerk zu entwickeln. Es brachte sich selbst bei anhand

einer Reihe von YouTube-Videos Katzen zu erkennen. Das Netzwerk umfasste 1,7 Milliarden Parameter. Dies entspricht der virtuellen Darstellung von Verbindungen zwischen Neuronen.

Im Vergleich dazu kreierte das Stanford-Team unter der Leitung von Andrew Ng, Director of the Artificial Intelligence Lab der Universität, ein ähnlich großes Netzwerk mit nur drei aktiven Servern, die Nvidia-GPUs nutzen, um die riesigen Datenmengen des Netzwerks zu berechnen. Das Team realisierte anschließend mit 16 NVIDIA-GPU-beschleunigten Servern ein neurales Netzwerk mit 11,2 Milliarden Parametern – 6,5mal größer als das in 2012 vorgestellte Google-Netzwerk.

Je größer und leistungsstärker ein neurales Netzwerk ist, desto genauer arbeitet es beispielsweise bei Erkennungs-Aufgaben, die es Computern ermöglichen, menschliches Verhalten zu modellieren. Ein Fachartikel über die Stanford-Forschung wurde gestern auf der International Conference on Machine Learning veröffentlicht.

Maschinelles Lernen ist ein schnell wachsender Bereich auf dem Sektor der künstlichen Intelligenz (KI) und wird in der Wissenschaft dazu verwendet, Computer ohne explizite Programmierung zum Handeln zu bringen. In den letzten zehn Jahren hat maschinelles Lernen selbstfahrende Autos, effektive Internetsuchen und eine enorm besseres Verständnis des menschlichen Genoms ermöglicht. Viele Forscher glauben, dass es das beste Verfahren auf dem Weg zu einer des Menschen ebenbürtigen KI ist.

Ein Unternehmen, das GPUs in diesem Bereich einsetzt, ist Nuance. Die Firma ist führend bei der Entwicklung von Technologien für natürliche Sprachen und Spracherkennung. Nuance trainiert seine neuronalen Netzwerkmodelle mit mehreren Terabyte an Audio-Daten, um die Sprache von Anwendern zu verstehen. Dadurch sind sie in der Lage, die Muster von gesprochener Sprache anhand von zuvor gelernten Mustern zu erkennen.

[www.nvidia.de](http://www.nvidia.de)

## PART

### S-Life V 2.2 - jetzt nach neuer FKM-Richtlinie 2012

Die neue Version 2.2 von S-Life steht ab sofort zur Verfügung. S-Life ermöglicht die einfache Durchführung eines statischen Festigkeitsnachweises und eines Ermüdungsfestigkeitsnachweises für metallische Bauteile nach FKM-Richtlinie auf Basis von FEM-Ergebnissen. Als Ergebnis werden die Auslastungsgrade auf der Bauteiloberfläche als Konturplot dargestellt. Dies bringt einen erheblichen Mehrwert für Ihre FEM-Berechnung durch eine einfache und verlässliche Auswertung gemäß dem Stand der Technik. In der aktuellen Version 2.2 ist die neue FKM-Richtlinie, 6. Auflage, 2012 „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen“ berücksichtigt.

### Converse und S-Life gewinnen immer mehr Anwender

Die Softwareprodukte Converse und S-Life etablieren sich zunehmend am Markt. Nicht zuletzt unsere Entwicklungs- und Vertriebspartnerschaften zu namhaften CAE-Software Anbietern wie Altair, Dassault, MSC, Autodesk und Simcon haben unsere Softwareprodukte bei einem größeren Interessentenkreis bekannt gemacht.

Converse überbrückt die Lücke zwischen Spritzgießsimulation und Struktursimulation für Kunststoffbauteile. Hiermit wird die Berücksichtigung von strukturellen Änderungen des Werkstoffs infolge des Verarbeitungsprozesses wie z.B. die Erfassung von Faserorientierungen und Eigenspannungen auf einfache Art und Weise möglich. Dies führt zu einer deutlich genaueren Vorhersage des realen Bauteilverhaltens.

S-Life ermöglicht die einfache Durchführung eines statischen Festigkeitsnachweises und eines Ermüdungsfestigkeitsnachweises für metallische Bauteile nach FKM-Richtlinie auf Basis von FEM-Ergebnissen. Als Ergebnis werden die Auslastungsgrade auf der Bauteiloberfläche als Konturplot darge-

stellt. Dies bringt einen erheblichen Mehrwert für Ihre FEM-Berechnung durch eine einfache und verlässliche Auswertung gemäß dem Stand der Technik.

[www.part-gmbh.de](http://www.part-gmbh.de)

## PDTec

### SimData Manager beim NAFEMS World Congress

PDTec AG informiert darüber, dass das Unternehmen mit einem Stand im Bereich der SPDM (Simulation Process & Data Management) Conference, die zum ersten Mal Teil der NAFEMS Veranstaltung war, vertreten war. PDTec präsentierte in Salzburg seine führende Simulationsdatenmanagement Lösung SimData Manager.

Die hervorragend besuchte Konferenz bestätigte den Bedarf nach einer deutlich besseren Integration der Berechnungsabteilungen in den durchgängigen PLM-Prozess. Mit dem SimData Manager zeigt PDTec in beeindruckender Weise, wie Simulationsingenieure heute ihre gesamten Abläufe in einem umfassenden System abbilden können. Bereits die Übernahme der CAD-Daten aus dem PDM-System stellt oftmals die erste Herausforderung an viele Ingenieure. PDTec bietet mit seinen langjährigen Erfahrungen im Datenaustausch die schnelle und einfache Integration von SDM und PDM, direkt aus einer Hand.

Neben dem gut besuchten Stand des Unternehmens im Ausstellungsbereich, war die PDTec AG auch mit zwei Vorträgen im Konferenzprogramm vertreten. Die Vorträge des Unternehmens zu den Themen: „SDM for Systems Simulation - Challenges and Solution Approach for Process and Data Management“ sowie „A Smart SDM-Solution for Automotive Suppliers“ wurden von Dr. Günter Staub, Vorstand der PDTec AG, präsentiert. Beide Vorträge werden in Kürze auf der Webseite des Unternehmens verfügbar sein und können von Kunden und Interessenten dort heruntergeladen werden.



Albrecht Pfaff, Vorstand für Marketing und Vertrieb der PDTEC AG, moderierte in seiner Funktion als Mitglied des DACH-Steering Committees außerdem die offene Diskussionsrunde am Ende der SPDM-Konferenz. Die gut besuchte Diskussionsrunde zum Thema „Will SPDM become a mainstream in Engineering?“ reflektierte die zunehmende Relevanz des Themas in der Industrie.

„Der NAFEMS World Congress ist die einzige unabhängige weltweite Konferenz für Simulation, simulationsverwandte Themen und ihren Einfluss auf die Industrie sowie darüber hinaus“, sagte Albrecht Pfaff, Vorstand für Marketing und Vertrieb der PDTEC AG. „Für uns ist die Veranstaltung und vor allem die SPDM Conference eine hervorragende Plattform, um unsere Lösungen zu präsentieren. Neben einem zunehmenden und industrieübergreifenden Bedarf an SPDM (Simulation Process & Data Management), konnten wir seitens der Teilnehmer ein großes Interesse an unserer SDM Lösung SimData Manager, die vor allem in der Automobilindustrie großen Zuspruch findet, feststellen. Mit stetig wachsenden Volumen an Simulationsdaten wird das Simulationsdaten-Management immer wichtiger – nicht nur für OEMs der Automobilindustrie sondern auch für die Zulieferer und andere Industrien. Mit dem SimData Manager bieten wir eine bewährte und umfassende Lösung an, die eine durchgängige, konsistente und direkte Verfügbarkeit berechnungsrelevanter Daten, z.B. geänderter CAD-Modelle aus der Konstruktion oder neuer Versionen von Simulationsmodellen, gewährleistet und die effiziente und strukturierte Verwaltung aller berechnungsrelevanten Daten entlang der gesamten CAE-Prozesskette ermöglicht.“

#### **PDTEC präsentierte CAD Portal**

PDTEC AG präsentierte auf dem 10. Daimler EDM CAE Forum in Stuttgart die neueste Version seiner Software CAD Portal zum Datenmanagement für NX und CATIA V5 und zur Integration mit Daimler wie auch

anderen OEMs. Das diesjährige Daimler EDM CAE Forum, das unter dem Motto „Engineering for Global Success“ stattfand, bot PDTEC eine ideale Plattform, Zulieferern und Entwicklungsdienstleistern die Vorteile einer Nutzung von CAD Portal in der Zusammenarbeit mit Kunden und Partnern und für das eigene Datenmanagement darzustellen.

CAD Portal sichert einen einfachen und schnellen CAD-Datenaustausch mit OEMs, Partnern und Zulieferern. Es ermöglicht die großteils automatisierte Übernahme der vom OEM bereitgestellten Datenumfänge, das übersichtliche CAD-Datenmanagement beim Automobilzulieferer vor Ort und stellt die, zum Teil mehrmals wöchentliche Regelversorgung der geänderten Entwicklungsstände sicher. Über sogenannte Delta-Imports werden die sonst aufwändigen Datentransfers erheblich im Datenvolumen reduziert, da nur die jeweiligen Änderungen neu transferiert werden.

Neben der Datenübernahme optimiert CAD Portal die Verwaltung von CAD-Strukturen, zugehörigen Produktstrukturen und Metadaten und erlaubt so das übersichtliche Datenmanagement von Kunden- und eigenerstellten CAD-Daten. Der CAD Client dient als Arbeitsmedium für den Konstrukteur, unterstützt diesen auch beim Abgleich seiner lokalen Daten mit den aktuellen Inhalten des Portals und stellt so insbesondere die Vermeidung von Redundanzen und die Aktualität der verwendeten Daten sicher.

[www.pdtec.de](http://www.pdtec.de)

#### **SFE**

#### **Dassault Systèmes übernimmt SFE GmbH**

(siehe auch Dassault Systèmes) Die SFE GmbH wurde von Dassault Systèmes übernommen wurde und wird Teil der „3DEXperience“. Die SFE Produkte, vor allem SFE Concept und SFE Akusmod, werden heute weltweit geschätzt und eingesetzt. Die Produkte werden weiterhin sorgfältig gepflegt und intensiv

ONE  
ASSOCIATION  
1 0 0 0 M E M B E R  
O R G A N I S A T I O N S

ONE  
VISION  
3 0 0 T E C H N I C A L  
G R O U P P A R T I C I P A N T S

ONE  
COMMUNITY  
O V E R 3 0 0 0  
E V E N T A T T E N D E E S

ONE  
NAFEMS  
THE INTERNATIONAL  
ASSOCIATION FOR  
THE ENGINEERING  
ANALYSIS COMMUNITY



[www.nafems.org](http://www.nafems.org)

weiterentwickelt. Das SFE-Team in Berlin garantiert die Qualitätssicherung und die innovative Weiterentwicklung auch zukünftig uneingeschränkt. Gemeinsam ist es uns möglich, den Entwicklungsprozess von der frühen Auslegungsphase bis hin zur Fertigung durchgängiger, bewertbarer und schneller zu gestalten. Der Paradigmen-Wechsel von der sequentiellen CAD – CAE hin zur simultanen CAD – CAE Verknüpfung ist somit leistbar. Die Integration der SFE-Produkte in das umfangreiche Produktportfolio von Dassault Systèmes wird die Simulationskette bereichern. Dies gilt sowohl für die linearen Analysen (z.B. NVH) als auch für die nichtlinearen Analysen (z.B. Crash). Die parametrische Simulationsgeometrie als Ergebnis der SFE- Technologie wird mit den Simulationsprodukten von Dassault Systèmes im Umfeld von Simulia sowohl in interaktiven als auch in geschlossenen Variantenzyklen direkt bewertbar. Die funktionsbewertete Geometrie kann direkt in eine Catia Referenzgeometrie für den nachgeschalteten Fertigungsprozess umgewandelt werden. Letzteres wird sowohl in Catia V5 als auch in Catia basierend auf der 3DEXperience Plattform umgesetzt sein.

[www.sfe-berlin.de](http://www.sfe-berlin.de)

## SIMPACK

### Anwendertrainings zur Nutzung von Komfortreifenmodellen

Ab sofort bietet Simpack jetzt auch Anwender-Trainings für die Komfortreifenmodell-Programme FTire und CDTire an. Diese werden von Simpack-Partnern eigenständig entwickelt und können als Add-On Module innerhalb der Simpack Mehrkörper Simulations Software benutzt werden.

Dieses Jahr wird in den Räumen der Simpack AG das eintägige FTire-Training noch einmal im Dezember angeboten, welches von einem Mitarbeiter der Firma cosin scientific software durchgeführt wird. Somit hat der Trainingsteilnehmer den direkten Kontakt zum Hersteller des Programms und erhält Einblick

in die physikalischen Aspekte des Komfortreifenmodells FTire, dessen Applikationen und Besonderheiten. Trainingsinhalte sind wie folgt: Modellaufbau für Tire Belt Structure, Tread Description, Tread Wear und Thermal Model, Tread Pattern, Road Modelization für 3D Road Surfaces, Flexible Road Surfaces, Spatial Parametric Road Descriptions. Input/ Output Data File Handling für Tire and Road Data Handling, Additional Result Files, FTire/Tools (Utilities für Pre- und Postprocessing, Tire Input Data Estimation) und FTire Parameterization (Überblick von Measurements und Parameter Fitting) werden im Detail dargestellt. Das erst neu hinzugefügte eintägige Training für das CDTire Komfortreifenmodell vom Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) bietet die Simpack AG für das Jahr 2013 nur auf Anfrage an. Ab 2014 werden das FTire sowie das CDTire Training zweimal pro Jahr in den Simpack Trainingsräumen angeboten. Genaue Trainings-Daten und spezifische Inhalte werden zeitnah auf der Simpack Webseite unter der Rubrik ‚Training‘ veröffentlicht.

[www.simpack.com](http://www.simpack.com)

## SGI

### Škoda treibt Innovationen voran

Der Entwicklungsbereich von Škoda setzt hochperformante und skalierbare Computersysteme in der Produktentwicklung und für Sicherheitsanalysen ein. Zukünftig verwendet der Fahrzeughersteller über 2.300 Prozessorkerne in einem SGI ICE X Cluster System und zwei SGI UV Shared Memory Supercomputer mit weiteren eintausend Kernen und 8 Terabyte Hauptspeicher. Die SGI Systeme werden einerseits zur Analyse von Strömungs-Dynamiken eingesetzt und nutzen dazu Ansys Fluent Simulations-Software sowie OpenFOAM CFD Software. Daneben werden die Rechner mit der ESI Group PAM-Crash Software für Crash-Test Analysen verwendet.

## SGI Komplett-Lösungen für CAE Anwendungen

Der Economist sieht in der Digitalisierung von Herstellungsverfahren sogar die dritte industrielle Revolution. Modellierungen und Simulationen am Rechner senken die Kosten, steigern die Effizienz und stärken die Wettbewerbsfähigkeit. SGI bietet ausgefeilte Komplettlösungen mit flexiblen Rechner- und Storagekapazitäten für jeden Projektumfang und alle wichtigen Anwendungen. Unter anderem Fluent, MD Nastran, OpenFOAM, LS-Dyna oder Abaqus. Namhafte Hersteller wie 3M, Hamilton Sundstrand, Sikorsky oder Skoda setzen seit langem auf die innovativen Lösungen von SGI.

[www.sgi.com](http://www.sgi.com)

## SIMSCALE

### Simulationstechnologie im Browser

Das Team der SimScale GmbH, ein junges deutsches Software-Unternehmen, freut sich, den offiziellen Start seiner Online-Plattform für ingenieurtechnische Simulationstechnologie bekannt zu geben. Die SimScale-Plattform ermöglicht Wissenschaftlern und Ingenieuren, numerische Analysen mit Hilfe eines Standard Webbrowsers durchzuführen. Mit 3D-Visualisierung im Browser, skalierbarer, bedarfsgerechter Rechenkapazität und einem nutzungsbasierten Preismodell öffnet die SimScale-Plattform einen neuen Weg in der Simulationstechnologie: effizient, flexibel und mächtig.

Funktionsweise: Ein Webbrowser und eine Internetverbindung genügen, um ein mechanisches Design auf der SimScale-Plattform zu analysieren. Der Nutzer beginnt mit dem Hochladen eines CAD-Modells, welches – wie in einer Desktop-Anwendung – interaktiv und in 3D visualisiert wird. Die Plattform ermöglicht einen vollständigen Simulationsablauf: von der Vorbearbeitung des CAD-Modells und der Vernetzung, über die Simulationsspezifikation und -durchführung bis hin zur Visualisierung und der Nachbearbeitung der Ergebnisse in der integrierten

Post-Processing-Umgebung. Das offene Design von SimScale vereint eine stetig wachsende Anzahl an Simulationswerkzeugen aus den Bereichen Strukturmechanik, Strömungsmechanik und Thermodynamik. Da die eigentliche Rechnung in großen Rechenzentren ausgeführt wird, steht dem Nutzer jederzeit skalierbare Rechenkapazität zu Verfügung.

Welchen Mehrwert hat der Nutzer? Der Wettbewerbsvorteil, den Simulationstechnologie bieten kann, ist anhand vieler Anwendungsfälle in der Industrie belegt worden. Die Validierung von Konstruktionsentwürfen in frühen Entwicklungsphasen, Vorhersagen über die Leistungsfähigkeit eines Produkts, das Erkennen von Optimierungspotenzial oder das detailliertere Verständnis komplexer Systeme sind einige der Vorteile, die CAE-Methoden ihren Anwendern bringen. Die SimScale-Plattform eröffnet ihren Nutzern nun den Zugang zu umfassenden Modellierungs- und Simulationsmöglichkeiten auf flexible, effiziente und skalierbare Weise. Die freie monatliche Rechenkapazität ermöglicht jedem interessierten Ingenieur eine transparente Evaluation der Möglichkeiten für verschiedene Zielstellungen und Anwendungsfelder. Mit der SimScale-Plattform steht Ingenieuren jederzeit moderne Simulationssoftware kombiniert mit frei auswählbarer Rechenhardware zur Verfügung – ohne Fixkosten oder Wartungsaufwand.

Testen Sie es selbst: Ein Ziel der SimScale-Plattform ist es, Einstiegsbarrieren zu Simulationstechnologien zu senken: Der kostenfreie Einsteiger-Tarif der Plattform bietet ein monatliches, freies Simulationskontingent. Dies eröffnet Nutzern die Möglichkeit, unkompliziert einzusteigen – ohne Zeitbegrenzung, Vorauszahlungen oder Anmeldegebühren. Registrieren Sie sich einfach auf [www.simscale.de](http://www.simscale.de) und entdecken Sie selbst die Möglichkeiten von numerischer Simulation im Browser.

[www.simscale.de](http://www.simscale.de)

## SIEMENS PLM SOFTWARE

### DHBW wechselt: 3.600 Studenten steigen auf NX um

Den rund 3.600 Maschinenbau-Studentinnen und -Studenten der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) steht ein chancenreicher Wechsel bevor: Ab sofort nutzen sie für die CAD-Konstruktion die Software NX von Siemens PLM Software. Damit wechselt die DHBW als größte Hochschule in Baden-Württemberg zu einer der führenden integrierten Lösungen für CAD, CAM und CAE. Die Umstellung beginnt zeitgleich mit dem Start des neuen Semesters.

Siemens unterstützt den Wechsel mit einer Softwarespende. Damit steht den Studierenden und der Fakultät für Maschinenbau an der DHBW dieselbe Technologie zur Verfügung, mit der Firmen aus zahlreichen Branchen tagtäglich innovative Produkte entwickeln. Dazu gehören zum Beispiel die Automobilindustrie, die Luftfahrtbranche, Maschinenbau, Schiffbau, Elektronik und zahlreiche andere. Absolventen mit entsprechender Ausbildung sind gesuchte Kandidaten für Stellen im Bereich der Spitzentechnologie.

Siemens PLM Software stellt die Software im Rahmen seines GO PLM Programms bereit. Die Initiative öffnet mittlerweile über einer Million Studenten in mehr als 11.000 akademischen Institutionen weltweit den Zugang zu PLM-Software von Siemens.

### Neue Solid Edge Version

Solid Edge ST6, die neueste Version der Solid Edge-Software von Siemens PLM Software, kommt mit zahlreichen Verbesserungen auf den Markt. Mit neuen Funktionen in den Bereichen Konstruktion, Simulation und Zusammenarbeit lassen sich Aufgaben bis zu sechsmal schneller erledigen als mit der Vorgängerversion. Außerdem helfen neue Features den Anwendern von Solid Edge ST6 dabei, Daten auszutauschen und mit anderen SolidEdge Anwendern zusammenzuarbeiten. Unternehmen können mit den Verbesserungen in Solid Edge ST6 ihre Produktentwicklung effektiver gestalten als bisher.

Neben dem neuen Solid Edge Release stellt Siemens weitere Neuigkeiten rund um die Software vor: Im Bereich der Konstruktionsdatenverwaltung erleichtert die neue Version von Solid Edge for SharePoint (Solid Edge SP) die Zusammenarbeit in der Produktentwicklung. Der Solid Edge Mobile Viewer unterstützt jetzt auch Android-Tablets und das iPad Mini. Siemens hat die Neuerungen im Rahmen der Solid Edge University 2013 vorgestellt.

### Siemens vereinfacht Implementierung von PLM Software

Siemens PLM Software hat einen neuen anwendungsorientierten Ansatz für die Produktfreigabe entwickelt. Für Unternehmen vereinfacht sich dadurch der Einsatz von Teamcenter, dem weltweit am häufigsten genutzten Digital-Lifecycle-Management-System. Mit dem neuen Ansatz sind Teamcenter-Anwendungen ab sofort unabhängig von einer bestimmten Version der größeren Teamcenter-Plattform. Damit sind neue kunden- und marktgerechte Lösungen jetzt bis zu 300 Prozent schneller verfügbar. Kunden können neue Anwendungen installieren, ohne die Plattform upgraden zu müssen. So erreichen sie einen schnelleren Return on Investment im Bereich Product Lifecycle Management. Gleichzeitig hat Siemens die Verfügbarkeit der neuen Version 10 der Teamcenter-Plattform angekündigt.

Im vergangenen Jahr führte Siemens eine Reihe von Anwendungen ein, die jetzt mit verschiedenen Versionen der Teamcenter-Plattform kompatibel sind. Dazu zählen Briefcase Browser zur Einbindung von Lieferanten, Substance Compliance für Nachhaltigkeitsinitiativen, Product Cost Management zur Kostenanalyse im Laufe eines Produktlebenszyklus und die Quality-Management-Lösung mit CAPA.

[www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm)

## TECOSIM

**Damit die Post sicher ankommt: Tecosim simuliert Crasheszenarien für Elektrofahrzeug**

Die Streetscooter GmbH, ein Unternehmen für nachhaltige Mobilität, hat für die Deutsche Post ein Elektrofahrzeug für den Einsatz in der Brief- und Paketzustellung entwickelt. Eine wichtige Rolle spielte dabei die Sicherheit: Nicht nur der Insassenschutz muss im Falle eines Crashes gewährleistet sein, auch alle sicherheitsrelevanten Hochvolt-Komponenten müssen unfallsicher untergebracht werden. Für die Berechnung und Simulation verschiedener Crasheszenarien holte Streetscooter den CAE-Entwicklungspartner Tecosim ins Boot. Die Ingenieure des CAE-Spezialisten simulierten unterschiedliche Frontalcrashes, gleichzeitig mussten sie Aspekte wie das Konstruktionskonzept, Struktursteifigkeit, Fahrzeuggewicht und Kosten berücksichtigen. Gemeinsam konnten Streetscooter und Tecosim anhand der CAD-Konstruktion und Berechnungsergebnisse eine crashoptimierte Karosserie entwickeln, die seit kurzem erfolgreich in Vorserie gefertigt wird.

Die Berechnungsingenieure von Tecosim führten die Lastfälle gemäß der gesetzlichen Regelungen ECE-R94 und ECE-R12 durch, also Frontcrash mit deformierbaren Barrieren und Frontcrash gegen starre Wände. Diese Unfallszenarien in der Fahrzeugentwicklung beinhalten bei Elektrofahrzeugen einige besondere Herausforderungen: Die unfallsichere Unterbringung der Hochvolt-Komponenten spielte eine maßgebliche

Rolle, denn eine Gefährdung der Insassen sowie eine Beschädigung des Akkus musste ausgeschlossen werden. Die Hochvolt-Batterie ist nun im Boden des Fahrzeugs unter der Fahrerkabine untergebracht. Ein Stahlkäfig stellt hier sicher, dass es zu keiner Deformation kommt.

Für die CAE-Spezialisten von Tecosim stand bei der Craschoptimierung der Karosserie nicht nur die Sicherheit im Fokus: Sie mussten einen Mittelweg finden bei der Struktursteifigkeit und Crashperformance und dabei Fahrzeuggewicht und Kosten im Blick behalten. Das Konzept von Streetscooter sah vor, die Anzahl an Materialien, Blechdicken und Beschaffenheitsvarianten bewusst gering zu halten. Auf diese Weise können Kosten beim Einkauf und für die Lagerhaltung gesenkt werden. Mithilfe von FE-Berechnungen erarbeiteten die Tecosim Ingenieure Lösungsvorschläge zur Auswahl von Materialgütern und –stärken. Durch die Nutzung hochfester Stähle ließen sich die Materialdicke und somit auch das Gewicht bei gleichzeitig besserer Crashperformance reduzieren. Zusätzlich wurden neben geometrischen Änderungen lokale Versteifungen eingebracht um das Crashverhalten zu optimieren. Hierzu zählen neben eines optimierten Sickenbildes der Fahrzeuglängsträger eine crashgerechte Aussteifung des Batterieschutzkäfigs sowie die optimierte Ladelächenanbindung an die Fahrerkabine. Das Ergebnis: eine vergleichsweise leichte Karosserie, deren Produktionskosten im angedachten Rahmen liegen und die gleichzeitig alle Sicherheitsanforderungen erfüllt.

„Das Thema Sicherheit hat bei Streetscooter einen großen Stellenwert“, erklärt Ugo Fabrizio Scelsi, Projektleiter Gesamtfahrzeug bei Streetscooter. Das Unternehmen hat sich für den Frontalcrash gemäß ECE R94 und damit den höheren Sicherheitsstandard entschieden, obwohl dieser für leichte Elektrofahrzeuge der Klasse N1 gesetzlich nicht erforderlich ist. „Durch die virtuelle Crashesimulation und die gute Zusammenarbeit mit Tecosim haben wir die Karosserie in kürzester Zeit crashoptimiert – und das noch, bevor ein Prototyp gefertigt oder ein kostenintensiver realer Test durchgeführt wurde. Mit dem Ergebnis sind wir sehr zufrieden.“

[www.tecosim.com](http://www.tecosim.com)

Bitte senden Sie uns Ihre Pressemitteilungen an [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de).

Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert und wurden weitgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen.



<b>Open Source CFD International Conference 2013</b>	24.-25.10.	Hamburg, D	<a href="http://opensourceCFD.com/conference2013">opensourceCFD.com/conference2013</a>	Icon
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Structural Optimization in FE-Analysis</b>	03.10. (4 Wo)	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Practical CFD</b>	23.10.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Automotive Simulation World Congress</b>	29.-30.10.	Frankfurt, D	<a href="http://www.ansys.com/ASWC">www.ansys.com/ASWC</a>	Ansys
<b>Simpack Academy</b>	30.-31.10.	Pullach, D	<a href="http://www.simpack.com/simpack_academy">www.simpack.com/simpack_academy</a>	Simpack
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Non-Linear Analysis</b>	05.11.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Improving Simulation Prediction by Using Advanced Material Models</b>	05.-06.11.	Lund, S	<a href="http://www.nafems.org/lund2013">www.nafems.org/lund2013</a>	NAFEMS
<b>BlechExpo</b>	05.-08.11.	Stuttgart, D	<a href="http://www.blechexpo-messe.de">www.blechexpo-messe.de</a>	Messe Stuttgart
<b>NAFEMS Trainingskurs: Practical Introduction to FEA</b>	tba	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Seminar: Strömungsberechnungen (CFD) in der Systemsimulation</b>	12.-13.11.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org/cfd2013-2">www.nafems.org/cfd2013-2</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Seminar: „Best Practices“ als Voraussetzung zum effizienten Einsatz von CAE</b>	18.-19.11.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org/cae2013">www.nafems.org/cae2013</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Trainingskurs: Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications</b>	20.-21.11.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage</b>	21.-22.11.	Weimar, D	<a href="http://www.dynardo.de/de/wost.html">www.dynardo.de/de/wost.html</a>	Dynardo
<b>NAFEMS Trainingskurs: Verifikation &amp; Validierung (V&amp;V)</b>	03.-04.12..	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>Simvec Special</b>	10.-11.12.	Baden-Baden, D	<a href="http://www.vdi-wissensforum.de">www.vdi-wissensforum.de</a>	VDI
<b>2014</b>				
<b>NAFEMS Trainingskurs: Practical Introduction to FEA</b>	20.-22.01.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Deutschsprachige Konferenz</b>	20.-21.05.	Bamberg, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS

Weitere NAFEMS  
Veranstaltungen  
finden Sie unter

[www.nafems.org/events](http://www.nafems.org/events)



# Anwendung von Finite-Element Verfahren zur Berechnung gekoppelter magneto-mechanischer Probleme

Hermann Landes, Andreas Hauck  
(SIMetris GmbH)

Die wechselseitige Interaktion von Elektromagnetik und Mechanik spielt in vielen unterschiedlichen Anwendungsfeldern wie Antriebstechnik, Energieerzeugung und -übertragung, Prozess- und Messtechnik, Unterhaltungsindustrie oder auch Medizintechnik eine große Rolle.

Ursache dieser Interaktion sind in vielen Fällen Wirbelströme, welche in leitfähigen Materialien durch zeitabhängige Magnetfelder oder durch Bewegungen in einem inhomogenen Magnetfeld erzeugt werden. Diese Wirbelströme induzieren lokale Änderungen des Magnetfelds sowie Lorentzkräfte, welche zu Deformationen und Vibrationen des Körpers führen. Hieraus resultieren wiederum zusätzliche Wirbelströme, wodurch es insgesamt zu einer hochkomplexen wechselseitigen Interaktion der beteiligten Felder kommt.

In diesem Artikel wird die Anwendung der von SIMetris entwickelten Finite-Elemente-Software NACS auf solche Fragestellungen vorgestellt. Dazu wird, nach einer kurzen Darstellung der hierfür verfügbaren Berechnungsverfahren, der Einsatz in der industriellen Praxis anhand zweier Beispiele demonstriert.

In einer ersten Anwendung werden die durch die elektrische Anregung induzierten mechanischen Vibrationen eines Leistungstransformators untersucht. In diesem Fall können die Vibrationen der Spulenwicklungen und der Tankwände zu einem erheblichen abgestrahlten Lärmpegel führen. In einem zweiten Beispiel werden die Kopplungseffekte, welche bei einem Magnet-Resonanz-Tomographen auftreten, betrachtet. Im Gegensatz zum Leistungstransformator müssen hier die wechselseitigen Interaktionen mehrerer hochleitfähiger Strukturen in einem sehr hohen, aber zeitlich invarianten Grundfeld betrachtet werden.

Die unterschiedlichen Effekte, welche durch komplexe magneto-mechanische Interaktionen verursacht werden, lassen sich anhand dieser Beispiele eindrucksvoll demonstrieren. Vergleiche mit entsprechenden Messergebnissen dienen zur Validierung der Simulationsergebnisse.

## 1 Einleitung

In vielen unterschiedlichen Anwendungsfeldern wie Antriebstechnik, Energieerzeugung und -übertragung, Prozess- und Messtechnik, Unterhaltungsindustrie oder auch Medizintechnik spielt die wechselseitige Interaktion von Magnetfeldern und Mechanik eine große Rolle. Als Ursachen dieser Interaktion lassen sich Wirbelstromeffekte, Kräfte aufgrund des Maxwellschen Spannungs-Tensors an Permeabilitätsprüngen sowie magnetostriktive Effekte unterscheiden. Für eine vollständige Betrachtung der magneto-mechanischen Kopplung genügt es dabei nicht, nur die auf einen Körper durch die oben genannten Effekte wirkenden Kräfte und die daraus resultierenden Deformationen und Bewegungen zu betrachten. Vielmehr ist es dabei notwendig, auch die dadurch verursachten Rückwirkungen auf das Magnetfeld zu berücksichtigen.

Diese wechselseitige Interaktion ist insbesondere bei Wirbelströmen, welche in leitfähigen Materialien durch zeitabhängige Magnetfelder oder durch Bewegung in einem inhomogenen Magnetfeld erzeugt werden, zu beachten. Diese Wirbelströme induzieren ihrerseits lokale Änderungen des Magnetfelds sowie Lorentz-Kräfte, welche zu einer Deformation oder Bewegung des Körpers führen. Diese wiederum bewirken in einer Art Rückkopplung ihrerseits weitere Wirbelströme, welche zu einer weiteren lokalen Modifikation des Magnetfeldes führen (Abb. 1).

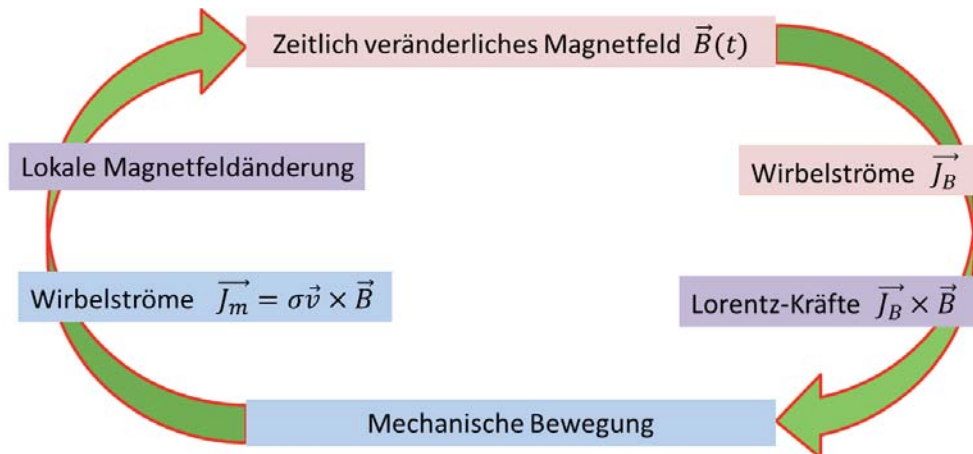


Abb. 1: Magneto-mechanische Kopplung bei Wirbelstromproblemen

Die numerische Simulation dieser komplexen, wechselseitigen Interaktionen der beteiligten Felder verlangt neben der Erfassung der beteiligten Einzelfelder auch eine vollständige Berücksichtigung der magneto-mechanischen Kopplung. Hierfür werden in der von SIMetris entwickelten Finite-Element-Software NACS entsprechende Verfahren bereitgestellt, welche eine korrekte Beschreibung und effiziente Berechnung der auftretenden Effekte ermöglichen.

Im Folgenden werden zuerst kurz die physikalischen Grundlagen sowie die in NACS für diese Art von Problemstellungen verfügbaren Berechnungsverfahren dargestellt. Wir werden uns dabei ausschließlich auf die für die Anwendung besonders wichtigen Wirbelstromprobleme beschränken. Zwei typische Anwendungen aus dem industriellen Umfeld verdeutlichen anschließend den Einsatz in der industriellen Praxis. Für einen Leistungstransformator wird hierzu das durch die elektrische Anregung verursachte Vibrationsverhalten der Spulen und Kesselwände untersucht, welches zu einem erheblichen Geräuschpegel führen kann. Im Gegensatz hierzu ist bei der Untersuchung klinischer Magnetresonanz-Tomographen die gekoppelte Interaktion mehrerer leitfähiger, zylindrischer Abschirmelemente in einem hohen, aber zeitlich konstanten Grundfeld zu betrachten.

Diese Anwendungen beleuchten die unterschiedlichen Effekte, welche durch komplexe magneto-mechanische Interaktionen verursacht werden können. Vergleiche mit entsprechenden Messergebnissen dienen zur Validierung der Simulationsergebnisse.

## 2 Physikalische Grundlagen

Die oben dargestellte komplexe Interaktion von Magnetfeld und Mechanik lässt sich durch geeignete Finite-Elemente Verfahren numerisch beschreiben. Dabei ist allerdings zu beachten, dass, bedingt durch die Kopplung, je nach Anwendungsfall selbst bei linearer Betrachtung der beteiligten Einzelfelder im gekoppelten Gesamtsystem nichtlineare Effekte auftreten können. Aus diesem Grund werden im Folgenden in erster Linie Vorgänge im Zeitbereich betrachtet.

### 2.1 Magnetik

Bei den hier betrachteten magnetischen Anwendungen handelt es sich um niederfrequente Wirbelstromprobleme bei denen keine Verschiebungsströme auftreten. Ausgehend von den Maxwell'schen Gleichungen erfolgt deren physikalische Beschreibung durch die Differentialgleichung

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J}_i - \sigma \dot{\vec{A}}$$

Darin bezeichnen  $\vec{A}$  das magnetische Vektorpotential,  $\mu$  die Permeabilität,  $\sigma$  die elektrische Leitfähigkeit und  $\vec{J}_i$  die den anregenden, eingespeisten Strömen entsprechenden Stromdichten.

### 2.2 Mechanik

Im Rahmen der linearen Elastizitätstheorie wird die Deformation und Bewegung eines Festkörpers durch die Differentialgleichung

$$\mathbf{B}^T \mathbf{c} \mathbf{B} \vec{u} + \vec{f} = \rho \vec{\ddot{u}}$$

beschrieben. Hierin sind  $\mathbf{c}$  der mechanische Elastizitätstensor,  $\rho$  die Dichte,  $\vec{u}$  bzw.  $\vec{f}$  die Verschiebung resp. die anregende Volumenkräftdichte und  $\mathbf{B}$  der durch

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \partial/\partial x & 0 & 0 & 0 & \partial/\partial z & \partial/\partial y \\ 0 & \partial/\partial y & 0 & \partial/\partial z & 0 & \partial/\partial x \\ 0 & 0 & \partial/\partial z & \partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \end{pmatrix}^T$$

definierte partielle Differentialoperator.

### 2.3 Magneto-mechanische Kopplung

Ursache für die magneto-mechanische Kopplung sind die in leitfähigen Körpern durch Bewegung bzw. Änderung des Magnetfeldes induzierten Wirbelströme

$$\vec{J}_e = -\sigma \dot{\vec{A}} + \sigma \dot{\vec{u}} \times \vec{B} = -\sigma \dot{\vec{A}} + \sigma \dot{\vec{u}} \times (\nabla \times \vec{A})$$

bzw. die Lorentz-Kräfte

$$\vec{f}_V = \vec{J} \times \vec{B} = (\vec{J}_l + \vec{J}_e) \times \vec{B} = \left( \vec{J}_l - \sigma \dot{\vec{A}} + \sigma \dot{\vec{u}} \times (\nabla \times \vec{A}) \right) \times (\nabla \times \vec{A}).$$

Bei einer starken Kopplung zwischen Magnetik und Mechanik, wenn sich also das Magnetfeld signifikant durch Bewegung bzw. Deformation eines Körpers ändert, ist für das magnetische Vektorpotential anstelle der partiellen Zeitableitung  $\dot{\vec{A}}$  das totale Differential  $\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + (\dot{\vec{u}} \cdot \nabla) \vec{A}$  zu verwenden.

Bei der Formulierung für die Lorentz-Kräfte wird das bereits oben erwähnte Auftreten von nichtlinearen Effekten im gekoppelten System, selbst bei ansonsten linearen Teilsystemen, deutlich. Bedingt durch die multilinearen Ausdrücke in den Kopplungstermen weisen beispielsweise bei sinus-förmiger Anregung des Magnetfeldes die Lorentz-Kräfte die doppelte Frequenz auf. Dadurch ist auch die Grundlage für die Erzeugung weiterer harmonischer Komponenten gelegt.

## 3 Finite-Element Formulierung

### 3.1 Moving Mesh Methode (Zeitbereich)

Zur numerischen Simulation des vollgekoppelten magneto-mechanischen Problems mittels Finiter Elemente ist neben der Betrachtung der Einzelprobleme die Behandlung der Kopplungsterme von essentieller Bedeutung. Als sehr effizientes und allgemein einsetzbares Verfahren hat sich hierbei die „Moving-Mesh“ Methode bewährt. Bei dieser wird in einem iterativen Lösungsalgorithmus mittels eines angepassten Prädiktor-Korrektor-Verfahrens eine Linearisierung der Kopplungsterme erzielt. Darüber hinaus wird das magnetische Teilsystem auf dem aktuellen, deformierten Gitter betrachtet und gelöst. Durch dieses „updating“ des magnetischen Teilsystems wird der Term  $(\dot{\vec{u}} \cdot \nabla) \vec{A}$  im totalen Differential  $\frac{d\vec{A}}{dt}$  bereits implizit mit berücksichtigt.

Das resultierende Gesamtsystem ergibt sich unter Berücksichtigung der Koppelsterme als

$$\begin{aligned} K_u \vec{u} + C_u \dot{\vec{u}} + M_u \ddot{\vec{u}} &= \vec{F}(\vec{A}) \\ K_A(\vec{u}) \vec{A} + M_A(\vec{u}) \dot{\vec{A}} &= \vec{J}(\vec{u}, \vec{A}) \end{aligned}$$

Darin ist die Abhängigkeit der Permeabilitäts- und Leitfähigkeitsmatrizen in der Magnetik vom augenblicklichen Verschiebungszustand nochmals explizit enthalten. Eine schematische Darstellung des sich ergebenden und in NACS verwendeten Lösungsalgorithmus ist in Abbildung 2 zu sehen.



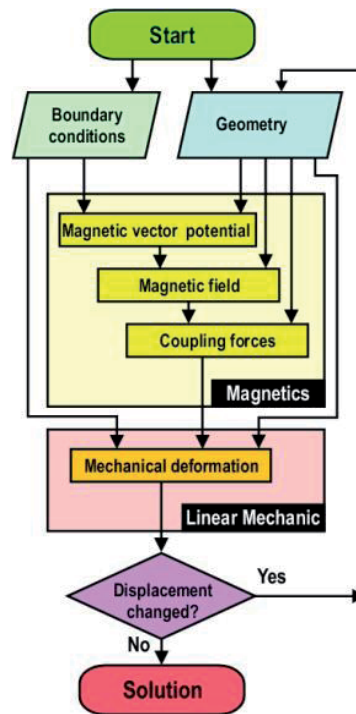


Abb. 2: Lösungsalgorithmus für Moving-Mesh Verfahren

### 3.2 $B_0$ -Splitting (Frequenzbereich)

Die oben dargestellte Moving-Mesh Methode hat sich als ein allgemein einsetzbares Verfahren bei der Lösung gekoppelter magneto-mechanischer Wirbelstromprobleme erwiesen. Leider weißt dieses Verfahren jedoch auch einige prinzipielle Nachteile auf. So ist z.B. die Berechnung auch bei sinus-förmigen Anregungen ausschließlich im Zeitbereich durchführbar und erfordert somit die Simulation vom Einschalten des Stroms bis hin zum Erreichen des eingeschwungenen Zustands. Dies kann insbesondere bei der Verwendung von Materialien mit hoher Leitfähigkeit sehr lange Zeit in Anspruch nehmen (100 Perioden und mehr) und erfordert somit eine entsprechend hohe Anzahl an zu lösenden Zeitschritten. Für spezielle Problemklassen steht hier mit dem „ $B_0$ -Splitting“-Verfahren in NACS eine effiziente Alternative zur Verfügung.

Hierzu wird für das gesamte magnetische Feld ein Zerlegungsansatz in ein stationäres, zeitlich invariantes Grundfeld  $B_0$  und ein zeitlich veränderliches,  $B_0$  überlagertes Feld  $B_1$  durchgeführt. Unter der Annahme, dass  $B_0$  sehr viel größer ist als  $B_1$  kann dann eine Linearisierung des resultierenden gekoppelten Systems durchgeführt werden. Dieses erlaubt nun auch die Betrachtung im Frequenzbereich und führt bei Annahme harmonischer Größen zu folgendem Gleichungssystem

$$\begin{pmatrix} K_{uu} & 0 \\ 0 & P_{AA} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{u} \\ \vec{A} \end{pmatrix} + j\omega \begin{pmatrix} C_{uu} + C_{uu}^B(\mathbf{B}_0) & C_{uA}(\mathbf{B}_0) \\ C_{Au}(\mathbf{B}_0) & L_{AA} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{u} \\ \vec{A} \end{pmatrix} - \omega^2 \begin{pmatrix} M_{uu} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{u} \\ \vec{A} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vec{J} \end{pmatrix}.$$

Hierin sind  $K_{uu}$ ,  $C_{uu}$ ,  $M_{uu}$  mechanische Steifigkeits-, Dämpfungs- und Massenmatrix,  $P_{AA}$  und  $L_{AA}$  die magnetische Permeabilitäts- bzw. Leitfähigkeitsmatrix sowie  $C_{uu}^B$ ,  $C_{uA}$  und  $C_{Au}$  die von  $\mathbf{B}_0$  abhängigen, zusätzlichen Kopplungsmatrizen.

Durch eine Umformulierung des obigen Gleichungssystems als quadratisches Eigenwertproblem wird darüber hinaus die Berechnung der Eigenmoden eines leitfähigen Körpers in einem umgebenden Magnetfeld ermöglicht.

#### 4 Leistungstransformatoren



Leistungstransformatoren erzeugen, insbesondere bei hohen Leistungen, ein deutliches (Brumm-) Geräusch. Ursache hierfür sind die Vibrationen der Kesselwände, welche im Lastfall auf Wirbelstrom-induzierte, magneto-mechanisch angeregte Wicklungsvibrationen zurück zu führen sind. Um für zukünftige Anforderungen an reduzierte Lärmpegel für Leistungstransformatoren gerüstet zu sein, ist daher eine Untersuchung und Verständnis der Anregungsmechanismen und Schallübertragungswege entscheidend. Ein typischer Aufbau eines Leistungstransformators ist in Abb. 3 und 4 dargestellt. Die elektrische Anregung erfolgt in den 3 Wicklungen, welche Hoch- und Niederspannungswicklungen enthalten, mittels sinusförmiger Ströme mit 50 resp. 60 Hz. Diese Ströme weisen zwischen den Spulen jeweils einen Phasenunterschied von  $120^\circ$  auf. Aus diesem Grund ist für eine wirklichkeitsnahe Berechnung ein volles 3D Modell erforderlich (Abb. 5, 6).



Abb. 3: Leistungstransformator, Aktivteil



Abb. 4: Leistungstransformator, Kessel

Da das primäre Magnetfeld des Transformators von den eingespeisten Strömen erzeugt wird, weist dieses dieselbe Periodizität auf. Für die Lorentz-Kräfte  $\vec{f}_V = \vec{j} \times \vec{B}$  ergibt sich somit ein primärer Frequenzanteil von 100 bzw. 120 Hz, so dass die Vibrationen bei Anregung mit Netzfrequenz typischerweise die doppelte Netzfrequenz aufweisen. Bei den Vibrationen von Leistungstransformatoren ist somit das bereits oben erwähnte Phänomen der Frequenzverdopplung deutlich zu beobachten. Dies führt dazu, dass der abgestrahlte Lärm den (unbewerte-

ten) Maximalpegel typischerweise bei doppelter Netzfrequenz aufweist. Im Einzelfall können dabei, bedingt durch z.B. Nichtlinearitäten bzw. das Auftreten höherer Frequenzanteile im Spektrum der anregenden Ströme bei Verwendung nicht sinusförmiger Anregungen, aber auch höhere Harmonische dominieren.

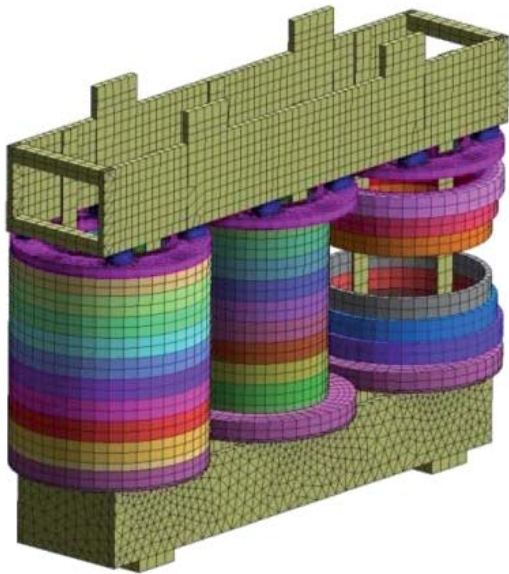


Abb. 5: Transformatormodell, Aktivteil

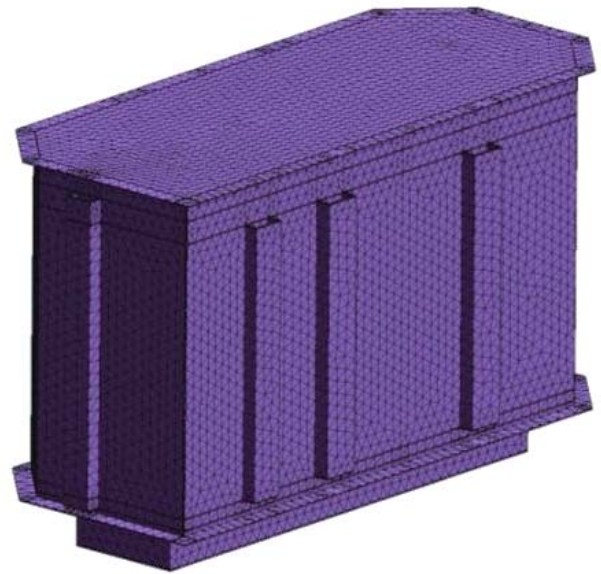


Abb. 6: Transformatormodell, Kessel

In der Simulation mit NACS erfolgt nun die Anregung ebenfalls mittels eines sinusförmigen Stroms; aufgrund der Frequenzverdopplung wird die Berechnung aber komplett im Zeitbereich bis zum Erreichen des eingeschwungenen Zustands durchgeführt. Hierfür ist typischerweise mindestens die Berechnung von 50 Perioden nötig. In den Abbildungen 7 und 8 sind die resultierenden Deformationen des Kerns bzw. des Ölkessels dargestellt. Für die Validierung der Simulationen konnten bei einem speziellen Aufbau die Beschleunigungen auf den Wicklungen vermessen und mit Simulationsergebnissen verglichen werden. Für den Aufbau gemäß Abb. 3 und Abb. 4 wurden die erzeugten Luftschallpegel für die einzelnen Seitenflächen bzw. den Gesamttransformator berechnet und vermessen. Vergleiche von Messdaten und Simulationen sind in Tabelle 1 und 2 dargestellt und zeigen gute Übereinstimmung.

	Axial	Radial
Messung	0,047 m/s <sup>2</sup>	0,036 m/s <sup>2</sup>
Simulation	0,046 m/s <sup>2</sup>	0,037 m/s <sup>2</sup>

Tab. 1: Wicklungsbeschleunigungen

	Vorderseite	Rückseite	Gesamt
Messung	86,0 dB(A)	81,2 dB(A)	89,2 dB(A)
Simulation	84,7 dB(A)	80,0 dB(A)	90,1 dB(A)

Tab. 2: Schallpegel

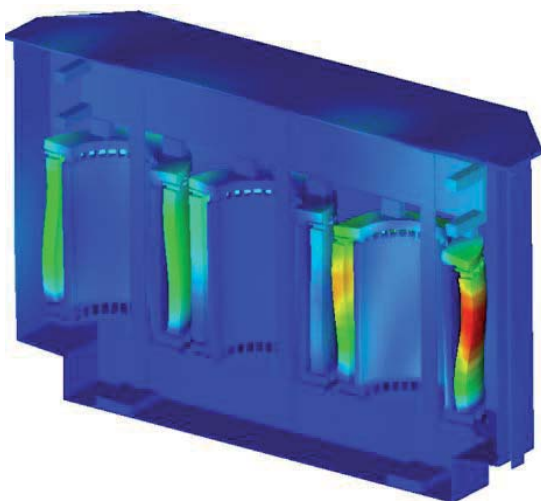


Abb. 7: Deformation der Spulen

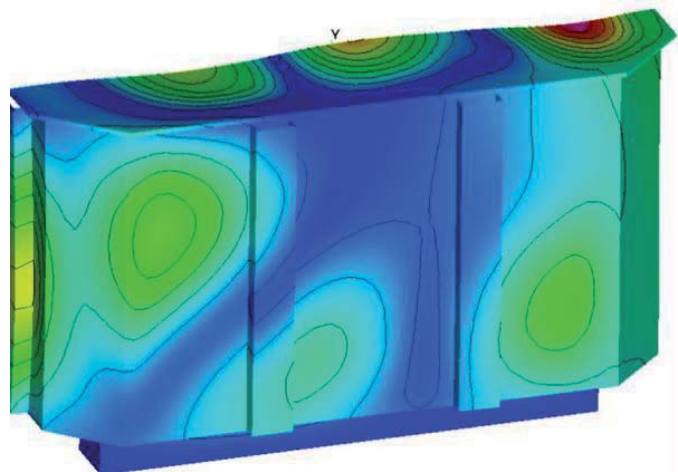


Abb. 8: Auslenkungen Kesselaußenseiten



Wie bereits oben angedeutet kann es durch den bei Leistungstransformatoren auftretenden Frequenz-Verdopplungsmechanismus auch zur Erzeugung höherer Harmonischer der Netzfrequenz kommen. So weisen die von den Vibrationen leitfähiger Teile erzeugten Wirbelströme bereits doppelte Netzfrequenz auf und interagieren nun mit dem von den anregenden Strömen erzeugten Feld mit einfacher Netzfrequenz. Somit kommt es im Transformator zu einer Überlagerung von zeitlich veränderlichen Magnetfeldern mit unterschiedlichen Frequenzen, welche schließlich für das Auftreten höherer Harmonischer verantwortlich ist.

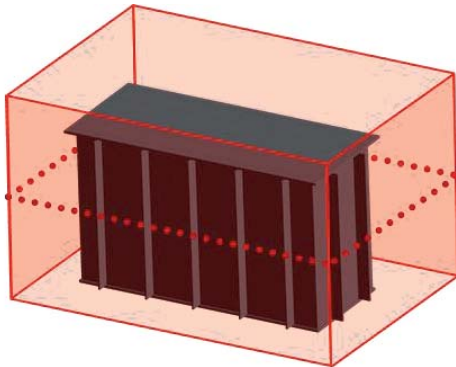


Abb. 9: Auswertepfad um Transformator

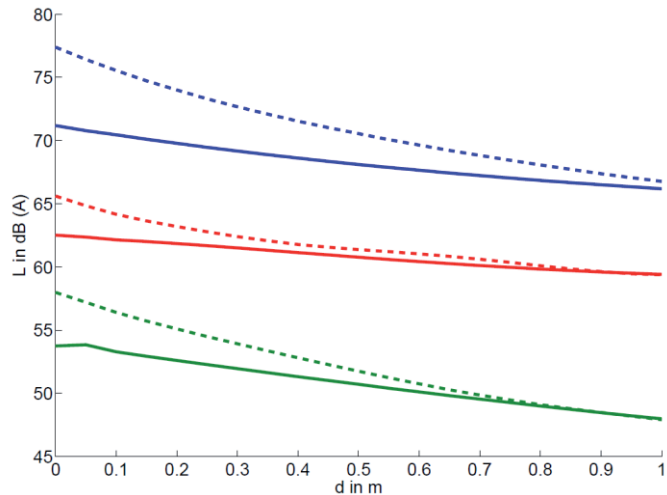
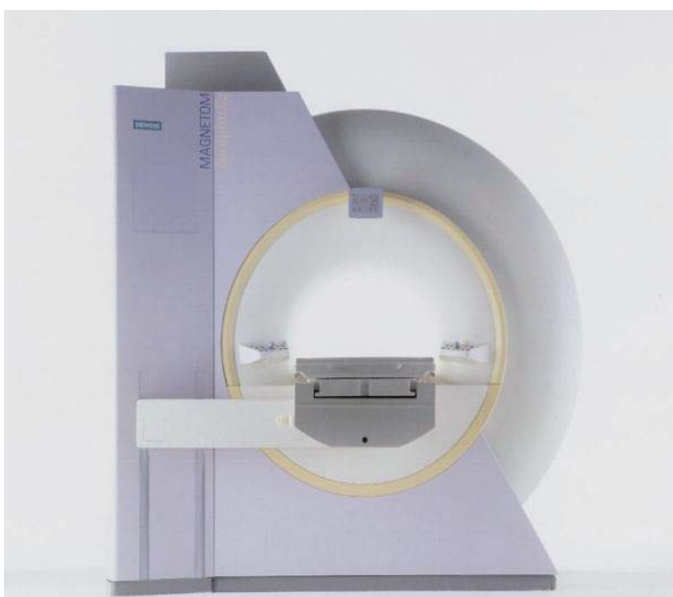


Abb. 10: Schalleistungspegel bei 100 Hz (blau), 200 Hz (grün) und 300 Hz (rot)

Dies ist insbesondere bei der akustischen Analyse des von Transformatoren abgestrahlten Geräuschs zu beachten, da hier in der Praxis typischerweise eine A-Bewertung der akustischen Größen zur Anwendung kommt. In Abbildung 10 ist beispielsweise der mit NACS berechnete, A-bewertete Schalleistungspegel im Nahfeld eines Transformators für doppelte, vierfache und sechsfache Netzfrequenz dargestellt. Hierzu wurde der Pegel auf einem Pfad im Abstand  $d$  vom Transformator (vgl. Abb. 9) entsprechend standardisierten Messverfahren in der Simulation ermittelt. Dabei wurde sowohl eine Auswertung basierend auf dem Schalldruck (gestrichelte Linien) als auch auf der Schallintensität (durchgezogene Linien) in der Simulation verwendet.

## 5 Magnetresonanz-Tomographie



Die Magnetresonanz-Tomographie (MRI) ist eines der am meisten eingesetzten und leistungsfähigsten Bildgebungsverfahren in der Medizintechnik. Die Hauptbestandteile eines MR Gerätes bestehen dabei aus dem eigentlichen Magneten (Abb. 11) und der Gradientenspule (Abb. 12), welche ihrerseits einen komplexen Aufbau aufweisen. In Abb. 13 sind die wesentlichen Bestandteile nochmal im Querschnitt dargestellt. Das stationäre Grundfeld, welches bei derzeitigen klinischen Anwendungen im Bereich von 1,5 – 3 T liegt, wird von den Grundspulen erzeugt. Diese Supraleiter müssen mittels flüssigem Helium auf max. 4 K gekühlt werden und sind von mehreren metallischen Zylindern, dem Helium Kessel (HeV), einem oder mehreren Schilden sowie dem äußeren Vakuum Schild (OVC), umgeben. Die Gradientenspulen erzeugen das zeitabhängige Gradientenfeld, welches typischerweise um mindestens 3 Größenordnungen schwächer ist als das Grundfeld. Durch die Interaktion von Gradientenfeld, leitfähigen Schilden

und dem starken Grundfeld kommt es nun zu einem sehr komplexen Vibrationsverhalten der Schilde und damit zu Wirbelstromverlusten in diesen. In Abb. 14 sind noch die für nicht-axiale Schnittbilder benötigten Transversalspulen dargestellt.





Abb. 11: MRI Hauptmagnet



Abb. 12: MRI Gradientenspulen

Für die Simulation der Wirbelstromverluste wird nun zuerst das Grundfeld in einer statischen Magnetik Berechnung erzeugt und dann als Parameter bei der eigentlichen transienten oder harmonischen Berechnung eingesetzt. Für die dynamischen Anregungen im Zeitbereich dienen typischerweise Chirp-Anregungen, welche den kritischen Frequenzbereich umfassen. Dabei ist auf einen entsprechenden langsamen Frequenz-Sweep zu achten, da ansonsten durch Frequenzversatz bzw. Überlagerung der Ergebnisse durch Nichterreichen des eingeschwungenen Zustands die Ergebnisse verfälscht werden können.

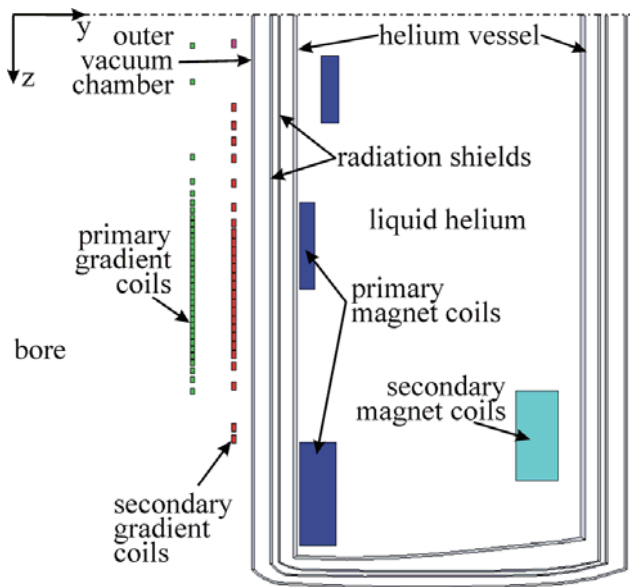


Abb. 13: Axialsymmetrisches MR Modell

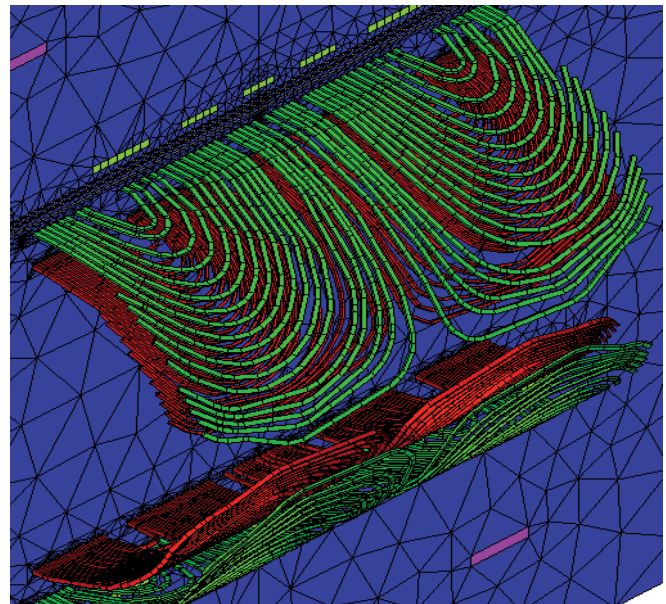


Abb. 14: 3D Modell, Transversalspulen

In Abb. 15 ist für eine mit NACS durchgeführte Optimierung einer 1,5 T MR Anlage ein Vorher/Nachher-Vergleich von Simulationen und Messungen dargestellt, welcher die Anwendbarkeit des Verfahrens für das Design von Kernspin-Tomographen belegt.

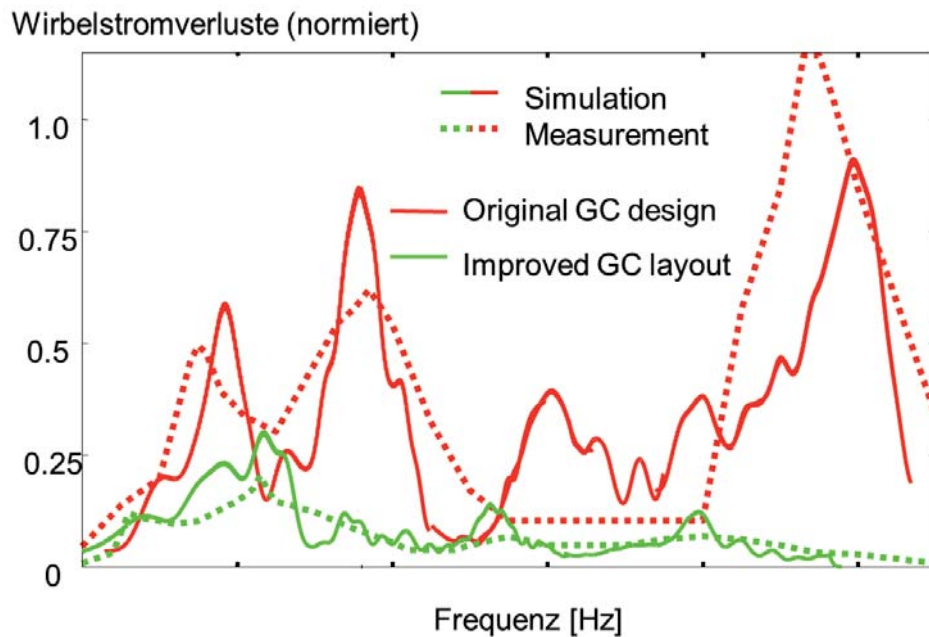


Abb. 15: Vorher/Nachher-Vergleich Messung vs. Simulation

In jüngster Zeit gibt es bei den Magnetresonanzverfahren einen deutlichen Trend hin zum Einsatz höherer Grundfelder, dem sog. Ultra-High-Field MRI (UHF MRI). Durch die Verwendung von UHF MRI ergeben sich u.a. deutlich verbesserte räumliche Auflösungen und ein vergrößerter Signal-Rausch-Abstand (Abb. 16).

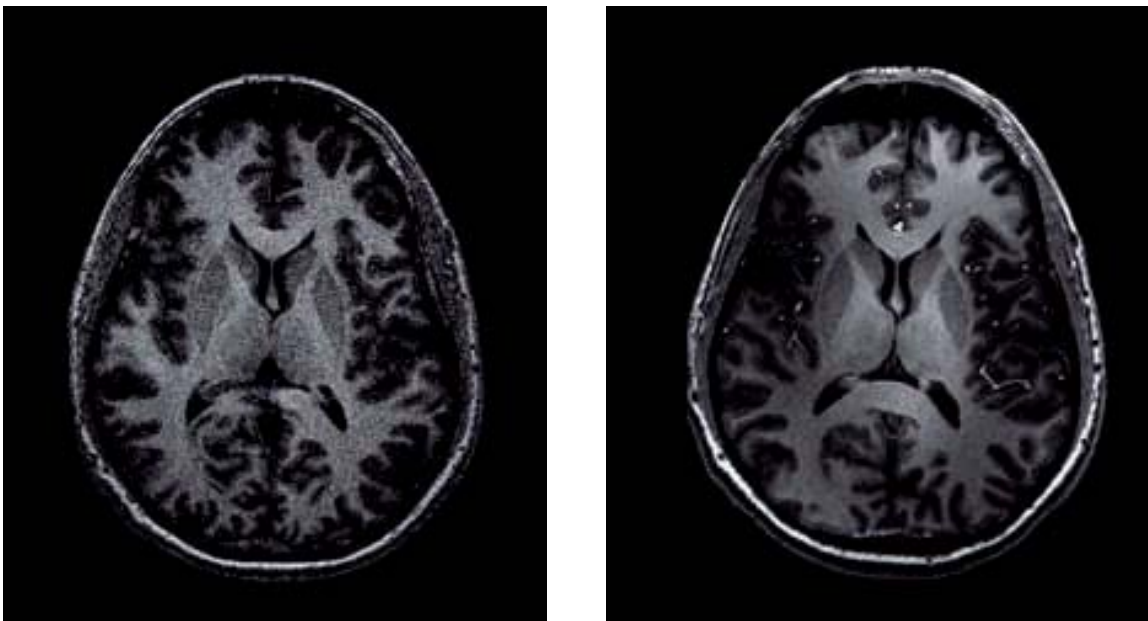


Abb. 16: Einfluss der Grundfeld-Stärke auf die Bild-Qualität: links 3T, rechts 7 T

Bedingt durch das hohe Grundfeld treten bei UHF MRI die magneto-mechanischen Kopplungseffekte deutlich verstärkt in Erscheinung. In Abb. 17 sind die mit NACS berechneten Wirbelstromverluste für eine MRI Anlage bei einer Grundfeldvariation von 1.5 – 11.7 T dargestellt. Dabei zeigt sich neben einem deutlichen Anstieg der Wirbelstromverluste auch ein signifikanter Frequenz-Shift, welcher durch die zunehmende magnetische Versteifung bedingt ist.

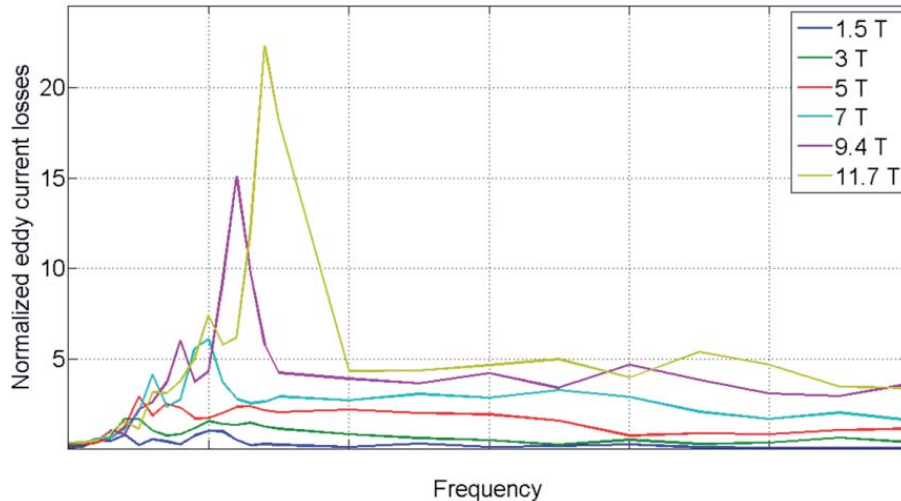


Abb. 17: Einfluss Grundfeld-Stärke auf Wirbelstrom-Verluste (normalisiert)

Zu dieser starken Versteifung des Systems tragen deutlich verstärkte Kopplungseffekte zwischen den einzelnen Schichten des Haupt-Magneten mit ihren zum Teil sehr hohen Leitfähigkeiten bei. Dies kann bei UHF MRI zum Auftreten eines quasi-unimodalen Schwingungsverhaltens der Schilde führen, trotz unterschiedlicher Eigenmoden und -frequenzen im Feld-freien Fall (Abb. 18).

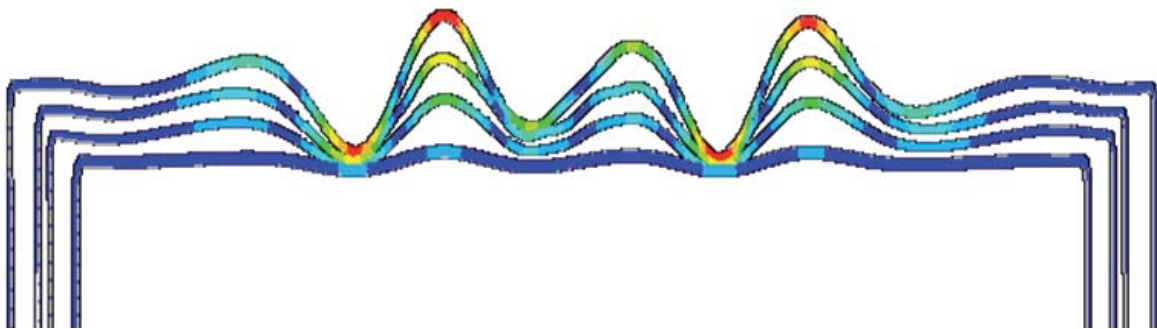


Abb. 18: Quasi-unimodale Schwingungen der Schilde in UHF MRI

## 6 Zusammenfassung

Für die numerische Simulation gekoppelter magneto-mechanischer Probleme müssen Verfahren bereitgestellt werden, welche in der Lage sind, die wechselseitige Beeinflussung von Verformung und Bewegung sowie magnetischem Feld zu beschreiben. Diese erfordern im Allgemeinen einen Lösungsansatz im Zeitbereich, da auch bei linearen Teilproblemen durch die Kopplungseffekte Nichtlinearitäten impliziert werden können. Diese treten bei der Simulation von Leistungstransformatoren in Form von Frequenzverdopplungs-Effekten auf. Für spezielle Problemklassen, wie Vibrationen leitender Körper in starkem, umgebendem Magnetfeld, lassen sich durch Splitting auch vollständig linearisierte Verfahren herleiten. Diese können z.B. bei der Simulation von MRI Anlagen erfolgreich eingesetzt werden. Die vorgestellten Untersuchungen von Leistungstransformatoren und Magnetresonanz-Tomographen dienen als Beispiele für den erfolgreichen Einsatz der dargestellten Verfahren in der industriellen Praxis.

## 7 Danksagung

Unser Dank gilt Peter Dietz, Nicole Hassel, Dr. Andreas Krug und Dr. Annette Stein (alle SIEMENS AG) sowie Dr. Michael Ertl (ehemals SIEMENS AG) für viele intensive Diskussionen und die fortdauernde Unterstützung unserer Arbeit.

## 8 Literatur

- [1] Rausch, M., Gebhardt, M., Kaltenbacher, M., Landes, H.: "Computer-aided design of clinical magnetic resonance imaging scanners by coupled magnetomechanical-acoustic modeling", IEEE Trans. Magn., 41 (1), 2005, 72 – 81
- [2] Ertl, M., Landes, H.: "Investigation of load noise generation of large power transformer by means of coupled 3D FEM analysis", COMPEL, 26 (3), 2007, 788 – 799
- [3] Kaltenbacher, M.: "Numerical simulation of mechatronic sensors and actuators", 2<sup>nd</sup> ed., Springer, 2007
- [4] Landes, H., Dietz, P., Krug, A., Stein, A.: "Simulations in Ultra-High-Field Magnetic Resonance Imaging", ANSYS Conference & 28<sup>th</sup> CADFEM Users Meeting, Aachen, 2010
- [5] Krug, A., Landes, H., Stein, A., Dietz, P.: "Modal Analysis for Coupled Magneto-Mechanical Systems Applied to MRI Scanners", ANSYS Conference & 30<sup>th</sup> CADFEM Users Meeting, Kassel, 2012
- [6] Ertl, M., Landes, H.: "Sound power measurements in the near field of transformers - a numerical analysis", ANSYS Conference & 30<sup>th</sup> CADFEM Users Meeting, Kassel, 2012



# Effizienzsteigernde Verfahrensweisen bei der simulationsgestützten Filterauslegung

Oleg Iliev, Ralf Kirsch, Zahra Lakdawala, Aivars Zemitis  
(Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM))

**Stetig steigende Anforderungen an Leistungsfähigkeit und Qualität von Filterelementen sowie immer kürzere Produktlebenszyklen in den betreffenden Anwendungsfeldern stellen eine große Herausforderung bei der Auslegung von Filterbauteilen dar. In den letzten zehn Jahren hat sich gezeigt, dass angepasste CFD-Tools die Produktentwickler in die Lage versetzen, den Designprozess von Filterelementen erheblich zu beschleunigen und/oder die Qualitätsmerkmale des Produkts zu verbessern.**

Die erwähnte Dynamik in den Anwendungsgebieten führt u.a. zu immer komplexeren Geometrien des Filtergehäuses bzw. der Filtermedien. Durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger Hardware und Verwendung ausgereifter Methoden werden solche Simulationsprojekte einerseits realisierbar, andererseits jedoch entsteht ein nicht unerheblicher Kostenaufwand bei den Rechnungen selbst sowie bei der Haltung bzw. Auswertung der teilweise sehr umfangreichen Ausgabedaten. Es ist daher wünschenswert, Simulationsläufe für weniger aussichtsreiche Kombinationen von Designparametern einzusparen bzw. aus bereits berechneten Ergebnissen verlässliche weitere Rückschlüsse ziehen zu können.

Am Beispiel der Auslegung von Filterelementen mit gefalteten (plissierten) Medien sollen hier mögliche Vorgehensweisen zur Erreichung dieses Ziels vorgestellt und diskutiert werden. Im Vorfeld der numerischen Simulation können analytische Modelle zur Eingrenzung des relevanten Parameterbereichs verwendet werden. Liegt eine Reihe von Simulationsergebnissen vor, so kann Data Mining dabei helfen, weitere Rechnungen einzusparen. Als klassische Methode zur Steigerung der Recheneffizienz wird auch auf die Verwendung angepasster Gitter eingegangen.

## 1 Einleitung

Bei der Einschätzung der Qualität und der Leistungsfähigkeit von Filterelementen liegt das Hauptaugenmerk auf der Filtrationseffizienz (Reinigungsleistung), dem Gesamtdruckverlust und der Schmutzaufnahmekapazität. Das komplexe Zusammenspiel dieser drei Faktoren bestimmt im Wesentlichen die Standzeit des Bauteils. Aus der Auslegung bewährter Bauteile Rückschlüsse auf ein neues Design zu ziehen, ist u.a. aus folgenden Gründen problematisch:

- Bauraumverknappung und steigende Volumenströme (z.B. Downsizing im Automotive-Sektor),
- erhöhte Anforderungen an die Filtrationseffizienz, immer kleinere Partikel sind auszufiltern (z.B. durch verschärfte umweltpolitische Vorgaben),
- Forderung nach verlängerten Standzeiten,
- neue/erweiterte Anwendungsbereiche,
- Innovationen bei den Filtermedien (neue Materialien).

Die ausschließliche Verwendung von Prototypen und deren Evaluierung am Messstand wird aus den genannten Gründen und wegen der allgemeinen Tendenz zu immer kürzeren Produktlebenszyklen immer schwieriger. In einigen Bereichen der Filterbranche ist ein solches Vorgehen wegen des Wettbewerbsdrucks schon nicht mehr möglich.

An die speziellen Erfordernisse der Filtrationssimulation angepasste CFD-Software hat beim Einsatz in der Praxis bewiesen, dass sie die Entwicklungszeit verkürzt bzw. wertvolle Dienste bei der Verbesserung der Qualität der Filterelemente leistet (siehe z.B. [1]). Die Entwicklung solcher Simulationstools ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabenstellung, denn:

- Filtration beinhaltet Phänomene auf mehreren Größenskalen, vom Nanometerbereich (Faserdurchmesser der Medien, Partikelradius) bis hin zur Zentimeter- bzw. Meterskala (Gehäuse). Entsprechend werden nicht selten hohe Anforderungen an die Rechengitter (Auflösung) und die Leistungsfähigkeit der Hardware gestellt.
- Die einzelnen Prozesse können sehr komplex sein (Modellierung des eigentlichen Filtrationsvorgangs).

- Die einzelnen Prozesse sind miteinander gekoppelt: Die Beladung des Filtermediums mit Partikeln ändert den lokalen Strömungswiderstand, dieser ändert das Strömungsfeld und dies wiederum beeinflusst das lokale Beladungsprofil. Wenn das Medium zusätzlich mit dem Fluid interagiert (Poroelastizität), so muss auch die Wechselwirkung der Form des Filtermediums mit dem Strömungsfeld bei der Simulation berücksichtigt werden (siehe z.B. [5]).

Die genannten Aspekte führen dazu, dass die Computersimulation von nichttrivialen Filterelementdesigns mit erheblichem Rechenaufwand und entsprechendem Datenaufkommen verbunden ist. Nach einer kurzen Vorstellung der mathematischen Modellierung von Filtrationsvorgängen werden wir uns der Frage zuwenden, wie der Simulationsaufwand reduziert werden kann. Am Beispiel der Filterkerzen mit gefalteten Medien (Sternfilter) wird gezeigt, dass mit Hilfe analytischer a-priori-Schätzungen, geeigneter Rechengitter sowie Data-Mining-Techniken der Rechenaufwand spürbar reduziert werden kann.

## 2 Mathematische Modellierung und algorithmischer Zugang

Grundlegende Voraussetzung für verlässliche Simulationsergebnisse ist die adäquate Modellierung der relevanten Prozesse. In diesem Abschnitt wird kurz auf die wesentlichsten mathematische Modelle eingegangen, die sich im Zusammenhang mit der Simulation von Filtrationsprozessen auf der Filterelementebene bewährt haben.

### 2.1 Mathematische Modellierung der Strömung

Es werden inkompressible Newtonsche Fluide betrachtet. Die Strömung durch das Filterelement einschließlich des Filtermediums wird beschrieben durch die Navier-Stokes-Brinkman-Gleichungen (siehe [2]):

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{u} &= 0, \\ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - \nabla \cdot (\tilde{\mu} \nabla \vec{u}) + (\rho \vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \mu K^{-1} \vec{u} + \nabla p &= f\end{aligned}$$

Hierbei bezeichnet  $\vec{u}$  die Geschwindigkeit,  $p$  den Druck,  $\rho$  die Dichte des Fluids,  $\mu$  ( $\tilde{\mu}$ ) die (effektive) dynamische Viskosität,  $f$  die äußeren Volumenkräfte und  $K$  die Permeabilität des Filtermediums. Die Gleichungen stellen im Wesentlichen die inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen mit einem zusätzlichen Term dar, der innerhalb des Filtermediums dem Darcy-Gesetz

$$\vec{u} = -\frac{K}{\mu} \nabla p,$$

entspricht. Außerhalb des Mediums gilt  $K^{-1} = 0$ , so dass eine mathematische Beschreibung für das gesamte Filterelement vorliegt und man nicht mit Gebietszerlegungen arbeiten muss.

### 2.2 Partikeltransport und Filtration

Wie bereits erwähnt wurde, ist der Partikeltransport mit dem Strömungsfeld gekoppelt. Außerhalb des Filtermediums wird dies modelliert als Transport-Diffusions-Gleichung,

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla C) - D \Delta C = 0,$$

wobei  $C$  die Partikelkonzentration und  $D$  die Diffusionskonstante bezeichnet. Innerhalb des Filtermediums muss zusätzlich die Abscheidung der Partikel berücksichtigt werden. Dies geschieht in Form eines „Reaktionsterms“ auf der rechten Seite,

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla C) - D \Delta C = -\frac{\partial M}{\partial t},$$

mit der abgeschiedenen Masse  $M$ . Für die Abscheidungsrate auf der rechten Seite existiert eine Vielzahl von Modellen. Für den Fall der Tiefenfiltration sind diese meist von der Form

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \Lambda(M, C),$$

d.h. die lokale Abscheidungsrate ist im Allgemeinen eine Funktion der Konzentration der gelösten Partikel und der bereits abgeschiedenen Masse. Die genaue Gestalt der Modellfunktion  $\Lambda$  und die Werte der zugehörigen Modellparameter hängen von der Art der gelösten Partikel, dem Filtermedium, dem Fluid und weiteren Faktoren ab. Eine Auswahl von Modellen dieser Art findet man u.a. in [3] und den dort angegebenen Quellen. Sowohl das Modell als auch die Parameter müssen aus experimentellen Messungen bestimmt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass sich mit relativ wenigen Messungen Parametertabellen erstellen lassen, die in einem recht großen Bereich von Simulationsszenarien einsetzbar sind.

### 2.3 Mathematische Modellierung der Permeabilitätsänderungen

Durch die Beladung des Filtermediums mit Partikeln werden die Porenräume mit der Zeit verändert, was wiederum eine zeitliche Änderung der Permeabilität nach sich zieht. Um dieser Tatsache bei der Simulation Rechnung zu tragen muss die Abhängigkeit der Permeabilität  $K$  von der Porosität  $\phi$  bzw. dem Feststoffanteil  $\bar{\phi} = 1 - \phi$  modelliert werden.

Klassische Permeabilitätsmodelle gehen von porösen Medien aus, die ausschließlich aus Fasern bestehen oder granular aufgebaut sind (siehe z.B. [4]). Bei vielen Filtermedien in technischen Anwendungen jedoch bildet sich mit der Zeit eine heterogene Struktur aus: Das saubere Medium besitzt meist eine Faserstruktur, der durch den Filtrationsprozess (mehr oder weniger) sphärische Komponenten in Form der abgelagerten Partikel hinzugefügt werden.

Dies legt nahe, die zeitliche Entwicklung der Permeabilität des Filtermediums mit Hilfe von so genannten Hybridmodellen zu beschreiben,

$$K(t) = \left( \frac{1}{K_{\text{clean}}} + \frac{1}{K_{\text{load}}(\bar{\phi}(t))} \right)^{-1},$$

d.h. der Wert der lokalen Permeabilität zur Zeit  $t$  setzt sich zusammen aus dem Anteil des sauberen Mediums und dem Beitrag des durch die Beladung zusätzlich erzeugten Feststoffanteils. Auch hier müssen die jeweiligen Modelle für eine gegebene Kombination aus Medium, Fluid und Verschmutzungsart durch Abgleich mit Messungen bestimmt werden. Ein erstes erfolgreich validiertes Beispiel für solch ein Hybridmodell wurde in [5] vorgestellt.

### 2.4 Grundzüge der algorithmischen Umsetzung

Sind die Modelle für die Filtration und die Permeabilität mit den zugehörigen Parametern identifiziert, so erfolgt die Simulation des Filtrationsvorgangs nach dem folgenden Schema:

1. Berechne Geschwindigkeitsfeld und Druckverteilung mit Hilfe der Navier-Stokes-Brinkman-Gleichungen. Oft genügt hier die Betrachtung des stationären Falls.
2. Simuliere Partikeltransport und -abscheidung für ein gewisses Zeitintervall.
3. Berechne aus der abgeschiedenen Masse die aktuelle Porosität und daraus die Permeabilität.
4. Wenn sich die (durchschnittliche/lokale) Permeabilität um einen gewissen Prozentsatz geändert hat, gehe zu 1., andernfalls gehe zu 2.

Durch die Überprüfung der Permeabilitätsänderung wird während der Simulation abgeschätzt, ob sich das Strömungsfeld signifikant geändert hat. Da die Strömungsberechnung für komplizierte Geometrien sehr aufwändig sein kann, ist durch diese adaptive Vorgehensweise eine deutliche Reduktion des Aufwands bei der Simulation erreichbar. Dies gilt vor allem, wenn die Zeitintervalle in Schritt 2 klein gewählt werden müssen, um schnell verlaufende Filtrationsvorgänge in entsprechender Qualität abbilden zu können.

### 3 Effizienzsteigerung bei der Simulation von Sternfiltern

Am konkreten Beispiel eines weit verbreiteten Typs von Filterelementen werden in diesem Abschnitt verschiedene Verfahren zur Reduktion des Simulationsaufwands vorgestellt.

#### 3.1 Aufgabenstellung

Filterelemente mit gefalteten (plissierten) Filtermedien sind sehr weit verbreitet, da durch die Faltung eine relativ große Filtrationsoberfläche  $A$  in einem relativ kleinen Volumen untergebracht werden kann (siehe Abb. 3.1). Für einen gegebenen Volumenstrom  $Q$  ergibt sich nach dem Darcy-Gesetz für den Druckverlust  $p^{\text{diff}}$ :

$$p^{\text{diff}} = d \frac{\mu Q}{K A}.$$

Dabei bezeichnet  $d$  die Dicke des Filtermediums. Dies liegt nahe, bei vorgegebenen Gehäuseabmessungen möglichst viele Falten im Medium zu erzeugen, um mit der vergrößerten Oberfläche sowohl den Druckverlust zu verringern als auch die Schmutzaufnahmekapazität zu erhöhen.

Folgende Parameter sind also in diesem Zusammenhang relevant:

- Dicke und Permeabilität des Filtermediums,
- Länge der Falten (Differenz aus äußerem und innerem Radius des Filtermediums),
- Anzahl (Weite) der Falten.

Wir werden uns im Folgenden auf die Faltenzahl konzentrieren, denn häufig ist das Filtermaterial schon im Vorfeld gewählt und durch die Vorgabe des verfügbaren Bauraums sind der Variation der Faltenlänge enge Grenzen gesetzt.

#### 3.2 Analytische Schätzungen zur Eingrenzung des Parameterraums

Der bei der Durchströmung einer Filterfalte auftretende Gesamtdruckverlust setzt sich zusammen aus der Darcy-Komponente sowie einem Anteil, der durch die Strömung in den Kanälen zwischen den Falten entsteht:

$$p_{\text{total}}^{\text{diff}} = p_{\text{Darcy}}^{\text{diff}} + p_{\text{Channel}}^{\text{diff}}$$

Ähnlich einer Poiseuille-Strömung ist diese zweite Komponente des Druckverlusts umso höher, je enger die Faltenkanäle sind. Dies bedeutet, dass der Druckverlust in den Kanälen mit wachsender Faltenanzahl ansteigt. Tatsächlich wächst dieser Anteil ab einer bestimmten Faltenzahl stärker als der Darcy-Beitrag sinkt, so dass es einen hinsichtlich des Druckverlusts optimalen Wert der Faltenanzahl gibt (siehe Abb. 3.2).

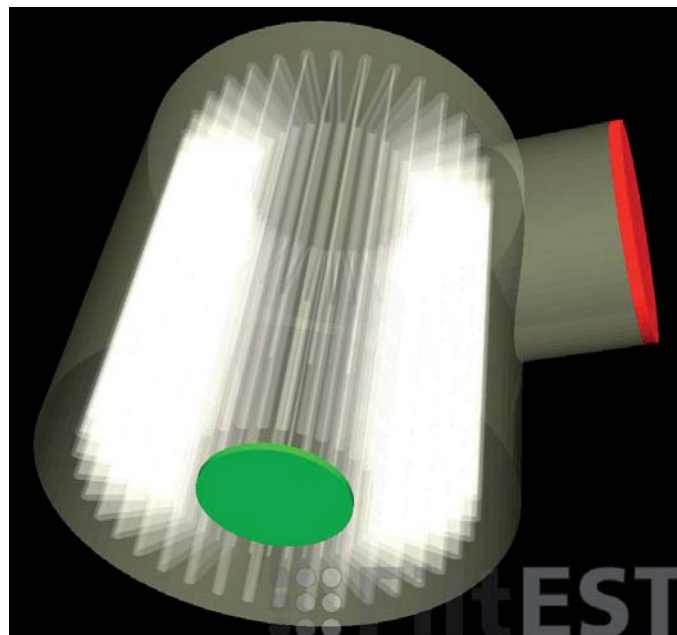


Abb. 3.1: CAD-Geometrie eines Sternfilterelements mit gefaltetem Filtermedium (weiß), seitlichem Einlass (rot) und zentralem Auslass (grün).



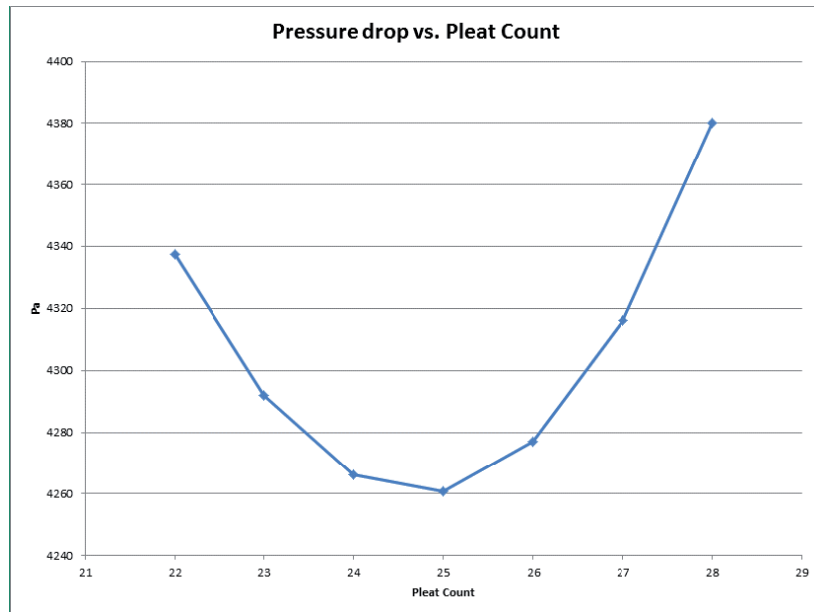


Abb. 3.2: Druckverlust in Abhängigkeit der Faltenzahl eines Sternfilters. Links vom Minimum überwiegt der Darcy-Druckabfall, rechts davon der Druckverlust in den Faltenkanälen.

Demnach führt eine Maximierung der Faltenzahl bei der Optimierung des Druckverlusts durch das Filterelement nicht zum Ziel. Auch zur Erhöhung der Schmutzaufnahmekapazität kann eine zu hohe Faltenzahl kontraproduktiv sein: Durch den hohen Druckverlust in den Faltenkanälen kann es passieren, dass bestimmte Bereiche des Filtermediums nur noch unzureichend angeströmt werden und daher die effektive Filtrationsoberfläche abnimmt.

Am Fraunhofer ITWM werden analytische Modelle entwickelt, die eine schnelle Abschätzung der optimalen Faltenzahl sowohl für das saubere Medium als auch bei Beladung gestatten (siehe Abb. 3.3). Da solche Modelle stets mit vereinfachenden Annahmen verbunden sind, stellen sie natürlich keinen Ersatz für die eigentliche Filtrationssimulation dar. Mit Hilfe dieser Schätzungen können aber Parameterbereiche für aussichtsreiche Designs eingegrenzt und somit die Simulationsschwerpunkte zielführend gesetzt werden.

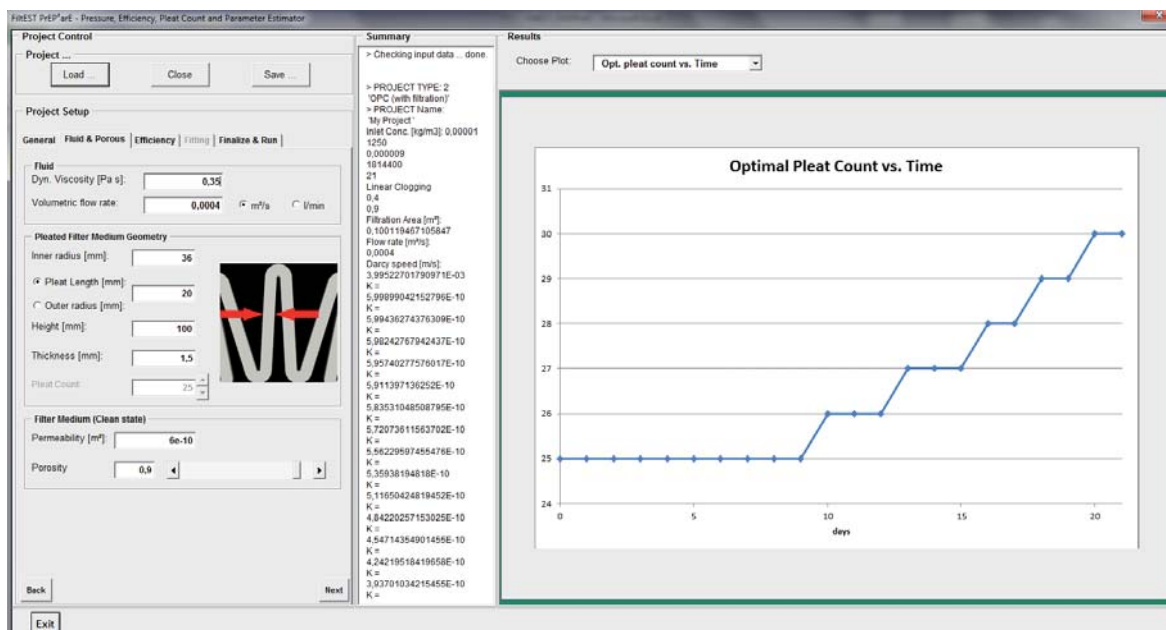


Abb. 3.3: Optimale Faltenzahl in Abhängigkeit der Zeit bei der Beladung des Mediums (Tiefenfiltration). Mit Hilfe solcher Schätzungen kann der Produktentwickler günstige Faltenzahlen auch für den Betrieb des Filterelements ermitteln.

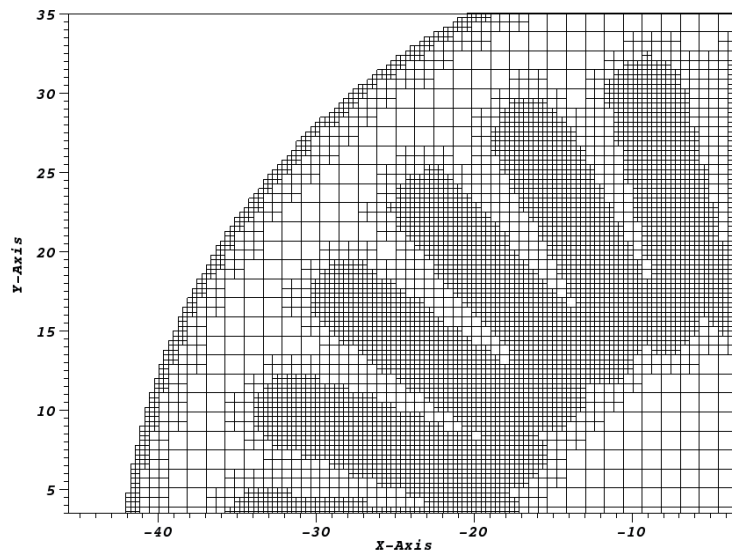


Abb. 3.4: 3-Level-Voxelgitter zur Simulation eines Sternfilterelements (Querschnittsdarstellung des 3D-Gitters).

### 3.3 Angepasste Rechengitter für die Simulation

Die Faltenstruktur des Filtermediums erzwingt eine hinreichend hohe Auflösung durch das Rechengitter. Die globale Verwendung dieser Auflösung im gesamten Gehäusevolumen würde auf einen sehr hohen Speicher- und Rechenaufwand bei der Simulation führen. Bei der am Fraunhofer ITWM entwickelten Filter Element Simulation Toolbox (FiltEST) wird daher ein lokal verfeinertes Voxelgitter eingesetzt. An den Gehäusewänden, den Ein- bzw. Auslassbereichen, im Filtermedium und seiner Umgebung wird eine hohe Auflösung verwendet, während in den reinen Fluidzonen gröbere Gitter eingesetzt werden (siehe Abb. 3.4). Die numerische Lösung erfolgt mit Hilfe problemangepasster Finite-Volumen-Methoden. Diese Technik wurde zunächst an Beispielen getestet, für die entsprechende Ergebnisse bestens bekannt sind. Ein solches Testszenario ist die Kanalströmung mit einem flachen porösen Medium (siehe Abb. 3.5). Die Anzahl der Zellen im 2-Level-Gitter beträgt weniger als 50% der Zellenzahl bei Verwendung der feineren Auflösung und entsprechend halbiert sich auch die Rechenzeit bei der Simulation. Die Abweichung der Resultate hingegen beträgt weniger als 5%.

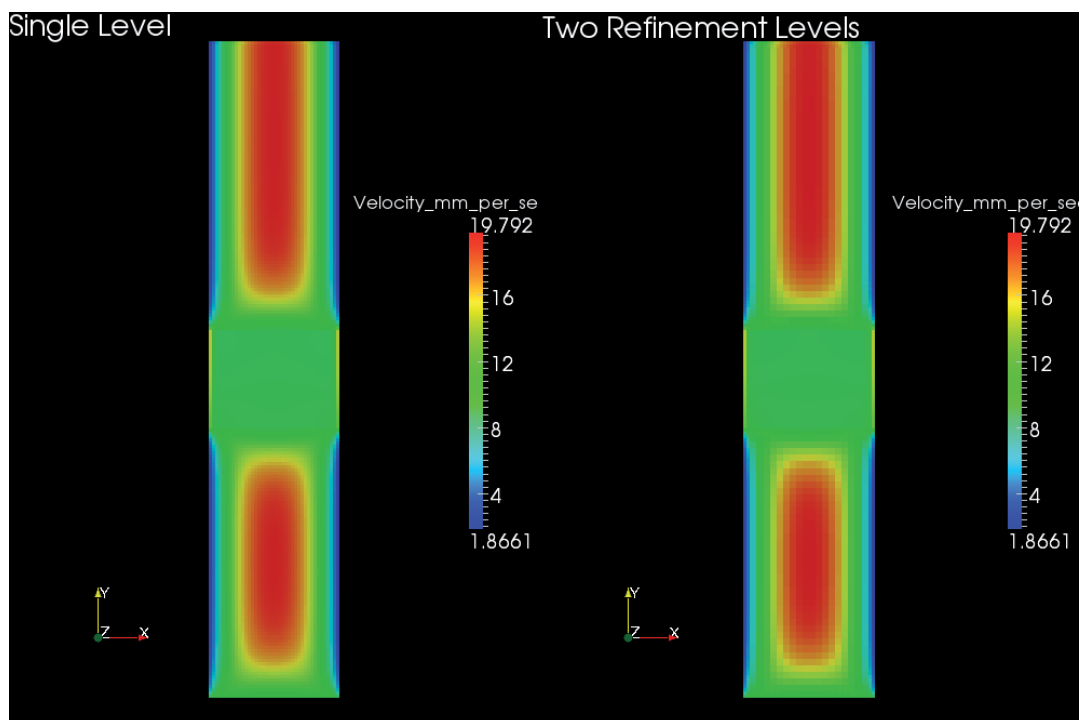


Abb. 3.5: Vergleich der Strömungsgeschwindigkeiten bei Simulation der Durchströmung eines flachen Filtermediums in einem Kanal mit hoher Auflösung (links) und 2-Level-Gitter (rechts).

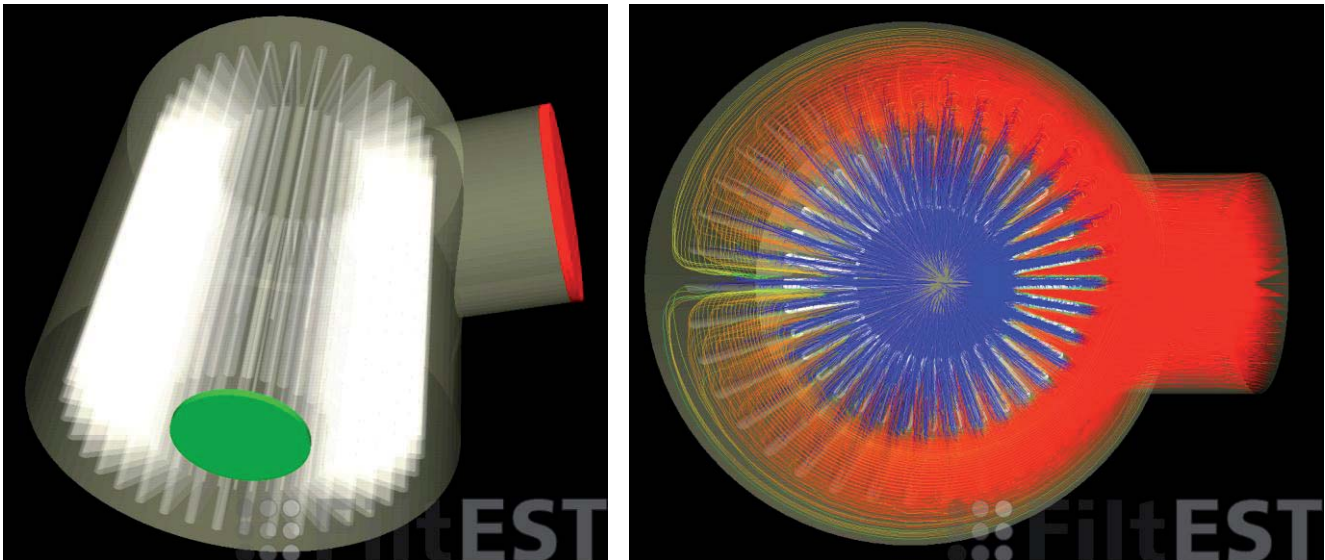


Abb. 3.6: Stromliniendarstellung der Strömungsgeschwindigkeit (links) und der Partikelkonzentration (rechts) für das Sternfilterelement.

Mit Hilfe des angepassten Gitters sind anspruchsvolle Simulationsprojekte realisierbar. In Abb. 3.6 sind die berechneten Ergebnisse für die Strömungsgeschwindigkeit und die Partikelkonzentration dargestellt. Die Hardware-Anforderungen für eine solche 3D-Simulation bewegen sich im gewohnten Rahmen, es kam eine Workstation zum Einsatz, wie sie heutzutage üblicherweise für CFD-Anwendungen beschafft.

### 3.4 Data-Mining-Techniken in der Auswertungsphase

Nach der Eingrenzung des Parameterbereichs und den effizienteren Simulationsrechnungen bleibt zu klären, ob in der Postprocessing-Phase zusätzliche Informationen aus den berechneten Ergebnissen gewonnen werden können.

Um dieser Frage nachzugehen, wurde in einer Studie eine ganze Reihe von Strömungssimulationen für einzelne Filterfalten durchgeführt, wobei deren Weite, Mediendicke, Permeabilität und Form (Faltenwinkel) variiert wurde. Die zugehörigen Ergebnisse wurden in einer SQL-Datenbank abgelegt und zufällig eine Teilmenge (ca. 75%) ausgewählt, um ein Data-Mining-Tool zu „trainieren“. Im Anschluss wurde das Tool dazu verwendet, den Druckverlust für jene 25% der Simulationsszenarien, die nicht Bestandteil des Trainings waren, vorherzusagen. Der Vergleich ergab eine bemerkenswerte Übereinstimmung der Vorhersagen für den Druckverlust mit den berechneten Werten (siehe Abb. 3.7).

Diese Machbarkeitsstudie hat damit erwiesen, dass es prinzipiell möglich ist, durch geeignete Datenanalyse beim Postprocessing weitere Simulationsläufe einzusparen. Im konkreten Beispiel betrug die Einsparung mindestens 25%. Eine genauere Bestimmung des Einsparpotenzials sowie die Übertragbarkeit dieser Beobachtung auf andere relevante Kenngrößen des Filterelements wird Gegenstand weiterer Betrachtungen sein.

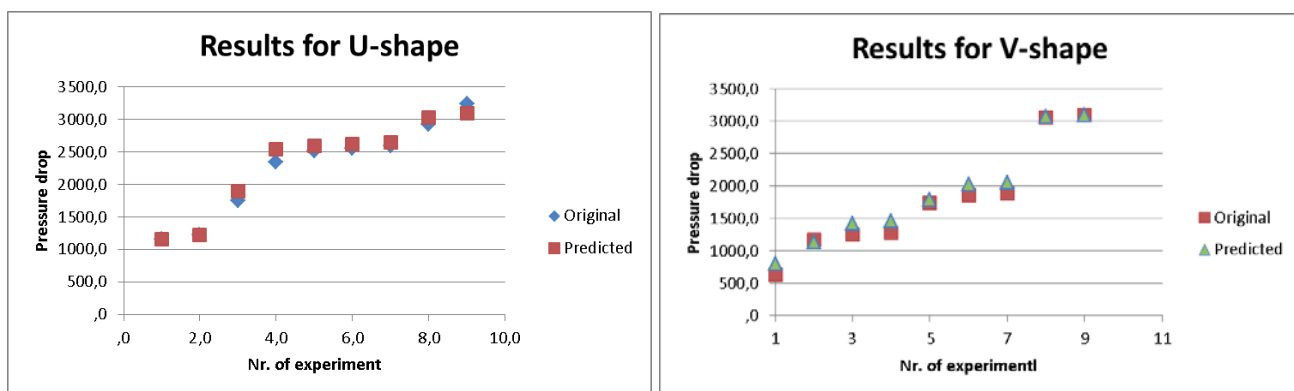


Abb. 3.7: Vergleich der Data-Mining-Vorhersagen für den Druckverlust mit den entsprechenden Ergebnissen der Simulation.

## 4 Zusammenfassung

Nachdem sich Computersimulationen auch im Bereich der Filterelementauslegung als probates Mittel zur Optimierung von Designs und zur effizienteren Gestaltung der Entwicklungsphase erwiesen haben, geraten die Simulationen selbst in den Mittelpunkt von Effizienzbetrachtungen. Die Frage, ob es sich „lohnt“, für bestimmte Designparameter überhaupt eine Simulation durchzuführen, kann nicht pauschal vorab beantwortet werden. Für ein klar umrissenes Design (wie den hier betrachteten Sternfilter) jedoch kann man erwarten, dass sich in mindestens einer Phase der rechnergestützten Auslegung (Vorbereitung, Simulation, Postprocessing) Verfahren zur Reduktion des Rechenaufwands und des Datenaufkommens entwickeln lassen.

## 5 Literatur

- [1] Andrä, H.; Iliev, O.; Kabel, M.; Kirsch, R.; Lakdawala, Z.; Dederling, M.: „CAE zur Simulation von Filterelementen“, NAFEMS Magazin 3/2012 Ausgabe 23 (2012), 64 – 71
- [2] Brinkman, H.C.: “A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles”, Appl. Sci. Res., Vol. A1, 27 - 34 (1947)
- [3] Iliev, O; Kirsch, R.; Lakdawala, Z.; Starikovicius, V.: “On some macroscopic models for depth filtration: Analytical solutions and parameter identification”, Filtech 2011 Conference Proceedings Volume I (2011), ISBN 978-3-941655-011-0, 440-447
- [4] Kaviany, M.: “Principles of Heat Transfer in Porous Media”, Springer New York-Berlin-Heidelberg (1991)
- [5] Andrä, H.; Iliev, O.; Kabel, M.; Lakdawala, Z.; Kirsch, R.; Starikovicius, V.: “Modelling and simulation of filter media loading and of pleats deflection”, Filtech 2011 Conference Proceedings Volume I (2011), ISBN 978-3-941655-011-0, 480-486



# Stochastische Simulation – Versuchsabgleich der Deformation eines Vierkantrohres

Georg Eichmüller (Volkswagen AG)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Meywerk (Helmut-Schmidt-Universität Hamburg)

**Die Anforderungen und Ansprüche an die Aussagegüte von Crashesimulationen steigen stetig. Um diesen gerecht zu werden, ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung der verwendeten Werkzeuge ebenso wie eine regelmäßige Betrachtung der methodischen Verwendung nötig – dazu zählen nicht zuletzt der Aufbau der Modelle sowie der Umgang und die Belastbarkeit der Daten, auf deren Basis die Modelle erstellt werden.**

**In diesem Beitrag wird die Abbildung des langsamen Stauchens eines Vierkantrohres mit Hilfe eines expliziten FE-Codes untersucht. Es wird dabei vor allem betrachtet, wie sich die Einflüsse einzelner physikalisch messbarer Parameter und die Ungewissheit über deren exakten Wert auf die Ergebnisse auswirken. Zum Abgleich stehen die Ergebnisse realer Versuche zur Verfügung. Es wird sich also zeigen, ob eine detaillierte Darstellung der gemessenen Eigenschaften der Prüflinge eine verbesserte Abbildung der Versuchsergebnisse bedingt und ob sich die Variation der Abgleichgrößen - wie im Versuch beobachtet - wiedergeben lässt.**

## 1 Motivation & Zielsetzung

Fortschreitende Hardware- und Softwareentwicklungen machen sowohl geometrisch hochaufgelöste als auch physikalisch detailliert modellierte Struktursimulationen möglich. Dadurch lässt sich eine grundlegende Frage im Umgang mit Modellen in zunehmendem Maße beantworten:

Wie ist mit speziellen, nicht exakten Kenntnissen über das reale System in der Simulation umzugehen?

Die Modellbildung im ingenieurwissenschaftlichen Bereich enthält vereinfachende Annahmen, um das Verhalten eines realen Systems rechnerisch vorhersagen zu können. Vereinfachungen sind begründet in der Vernachlässigung physikalischer Einflüsse (z.B. den Einfluss der Temperatur auf die Materialparameter in der Strukturmechanik), in der Vernachlässigung geometrischer Details (z.B. Vernachlässigung kleiner, geometrischer Strukturen), in der Vereinfachung der Gleichungen (z.B. die Überführung von Differentialgleichungen in algebraische Gleichungen durch Diskretisierungsverfahren) und in der Anwendung numerischer Näherungsverfahren, um die zu Grunde liegenden, vereinfachten Gleichungen auf dem Computer lösen zu können (z.B. Lösungsverfahren für große, schwachbesetzte Gleichungssysteme). Ergebnis der Modellbildung sind dann vereinfachende Modellgleichungen, die das Verhalten eines realen Systems angenähert wiedergeben (vgl. [1,2]).

Neben den Vereinfachungen bei der Modellbildung schränkt die exakte Kenntnis der Modellparameter, also der Parameter in den beschreibenden Gleichungen, und die exakte Kenntnis der tatsächlichen Geometrie die Vorhersagegüte der Modelle ein; speziell diese beiden nicht exakten Kenntnisse werden im Folgenden näher untersucht.

Ein Ansatz zur Beantwortung der oben gestellten Frage besteht in der stochastischen Betrachtung des Modells durch Variation der Modellparameter. An dem Prinzipfall des langsamen Stauchens eines geraden Vierkantrohres wird untersucht, wie gut die Ergebnisse wiederholter Versuche mit Hilfe variierender Parameter (Streuweiten in Anlehnung an die Variation der real gemessenen Werte) dargestellt werden können. Als Zielgrößen werden die Traglast, die mittlere Kraft sowie das Deformationsbild herangezogen.

Es sollen im Einzelnen die folgenden Fragen beleuchtet werden:

- Kann ein FE-Modell die Versuchsstreuungen angemessen wiedergeben?
- Wie genau lassen sich die Parameter und die Geometrie eines FE-Modell für den betrachteten Lastfall identifizieren und abbilden?
- Für welche Modellgrößen müssen dafür Streuungen berücksichtigt werden?
- Ist die Modellbildung auf einen zweiten Arbeitspunkt übertragbar?

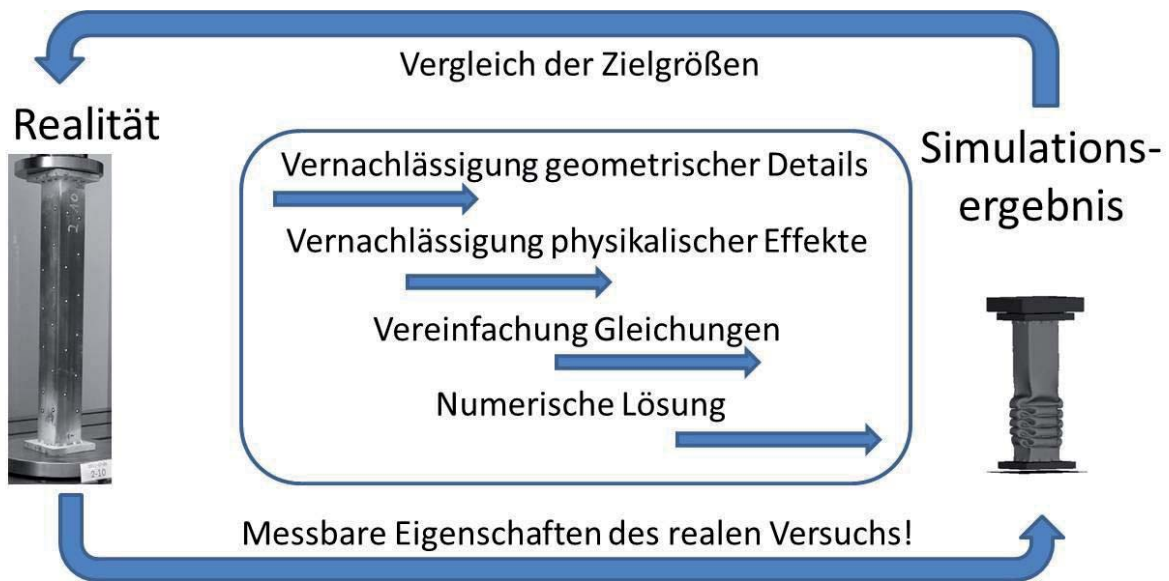


Abb. 1: Ungewissheit bei der ingenieurmäßigen Modellbildung

Bezüglich der Erfassung der Auswirkungen von Parameterstreuungen in vergleichbaren Modellen existiert bereits eine Reihe von Untersuchungen (vgl. [3, 4]). Einige Arbeiten [5, 6, 7] stellen sowohl Versuchsergebnisse als auch Berechnungsergebnisse für einen ähnlichen Lastfall vor. In diesen Arbeiten wird auch offensichtlich, dass eine Abbildung realer Versuchsergebnisse in der Simulation nicht selbstverständlich ist. Welche Effekte streuende Modellparameter für komplexere Lastfälle haben können, wird zum Beispiel bei Streilein [8] und Avalle [9] vorgestellt. Andere Ansätze zur Lösung dieser Herausforderung verfolgen Stochastische Finite Elemente (vgl. z.B. [10]).

In Ergänzung zu den bei der deutschsprachigen NAFEMS-Konferenz 2012 [11] vorgestellten Ergebnissen werden in diesem Beitrag die Ergebnisse eines vor allem bezüglich der Geometrieabbildung verbesserten Modells beschrieben. Außerdem wird mit den Belytschko-Tsay-Schalenelementen eine einfachere aber im industriellen Umfeld übliche Elementformulierung für die Struktur gewählt, im Gegensatz zur Verwendung eines vollintegrierten Elements zuvor.

## 2 Ungewissheit in der stochastischen Analyse und dem Simulationsabgleich

Den Kern einer stochastischen Analyse bilden die berücksichtigten Variationen der physikalisch interpretierbaren Eingangsgrößen der Betrachtung. Zusätzlich zu den Ungewissheiten aus dem Modellbildungsprozess haben vor allem die physikalisch interpretierbaren Eingangsgrößen Einfluss auf die Ergebnisse. In Anlehnung an die englischsprachige Literatur ([12, 13, 14]), die sich mit der Bedeutung dieser Variationen für den Modellabgleich beschäftigt, werden wir diese im Weiteren als Ungewissheiten (aus dem Englischen: uncertainty) bezeichnen.

In Anlehnung an die Einführung bei Kiureghian [15] wird im Folgenden kurz eine mögliche Klassifizierung von Ungewissheiten vorgestellt.

Eine etablierte Einteilung von Ungewissheiten kategorisiert diese in die sogenannten *epistemischen Ungewissheiten* (aus dem Griechischen: episteme – Wissen) und die *aleatorischen Ungewissheiten* (aus dem Lateinischen: alea - Würfel). Dabei beschreiben aleatorische Ungewissheiten - für die entsprechende Anwendungs- und Modellierungsumgebung – solche Phänomene, die von zufälligen Einflüssen herrühren. Folglich ist bezüglich der entsprechenden Systemgröße detaillierte Kenntnis vorhanden und es stehen keine etablierten Mittel zur Verfügung, genauere Kenntnisse zu erlangen oder die Systemgröße präziser im Modell abzubilden.

Dahingegen betrifft die epistemische Ungewissheit diejenigen Größen im Modell, deren Abweichung zur Realität potentiell durch das Sammeln von mehr und genaueren Messdaten bzw. durch eine Verbesserung des Modells erreicht werden könnten. Man spricht auch von epistemischen Ungewissheiten, wenn noch keine Vergleichsmessungen möglich sind, weil das zu analysierende System bisher nur in Form von Zeichnungen defi-

niert ist. Die Zeichnung beschreibt zwar die nominell angestrebten Eigenschaften - nicht notwendigerweise aber genau die des realisierten Systems, mit dessen Verhalten Simulationsergebnisse in aller Regel verglichen werden.

Für den untersuchten Lastfall sehen wir z.B. die exakte Ausrichtung des Prüflings zwischen den beiden Deckplatten als eine aleatorische Ungewissheit an – sie ist mit guter Genauigkeit messbar und im Modell abbildbar; mit vertretbarem Aufwand allerdings im realen System nicht weiter reduzierbar. Die Blechdicke und Materialeigenschaften im Bereich der Radien der Prüflinge sehen wir als mit epistemischer Ungewissheit behaftet an – sie waren den genutzten Messmethoden nicht zugänglich bzw. wurden nicht erfasst. Zusätzlich kann die Geometrie in diesem Bereich nur vergleichsweise stark approximiert abgebildet werden.

Die Abbildung der Geometrie der Prüflinge insgesamt wird durch die vorliegende Untersuchung im Gegensatz zu ähnlichen älteren Arbeiten in gewissem Sinn von einer epistemischen Ungewissheit zu einer aleatorischen Ungewissheit verschoben, da wir von unserem Standpunkt aus betrachtet sehr gute Kenntnisse über die Geometrie berücksichtigen.

Für einen Modellabgleich ist immer ein minimaler Anteil an epistemischer Ungewissheit anzustreben, denn dieser kann das Modellverhalten qualitativ und quantitativ so stark verfälschen, dass das Modell verworfen werden muss (vgl. Abschnitt 4.8 mit stark idealisierter Geometrie). Das Ziel des Modellabgleichs ist also, epistemische Ungewissheiten so weit zu reduzieren und aleatorische Ungewissheiten so angemessen zu berücksichtigen, dass das Verhalten von realem System und Simulation für die gewählte Anwendung nicht mehr zu unterscheiden sind.

### 3 Der untersuchte Lastfall

Als klassischer Lastfall für die vorliegende Untersuchung wird das langsame Stauchen eines Vierkantrohres mit 50 mm/min Stempelgeschwindigkeit in einer Universalprüfmaschine gewählt. Durch den vergleichsweise langsamen Ablauf des Experiments sind Trägheitseffekte klein und können vernachlässigt werden; die Reproduzierbarkeit der einzelnen Versuche bzgl. der Randbedingungen ist als hoch einzustufen (vgl. die in [16] veröffentlichten Ergebnisse). Die Halbzeuge zur Herstellung der Prüfkörper entsprechen der DIN EN 10305-5 für Präzisionsstahlrohre - entgegen den zum Beispiel in der Automobilindustrie zur Energieabsorption eingesetzten gefügten Stahlprofilen weisen die Prüflinge lediglich eine Schweißnaht auf. Entsprechend wird der Einfluss der Fügetechnik auf diese Weise klein. Um ein unkontrolliertes Einknicken der offenen Kanten zu verhindern, werden an beiden Enden der Prüflinge massive Stahlplatten durch Heftschweißung angebracht. In Abb. 3 ist ein Profil zu Beginn und am Ende der Versuchsdurchführung – ferner ein typischer Kraft-Weg-Verlauf.

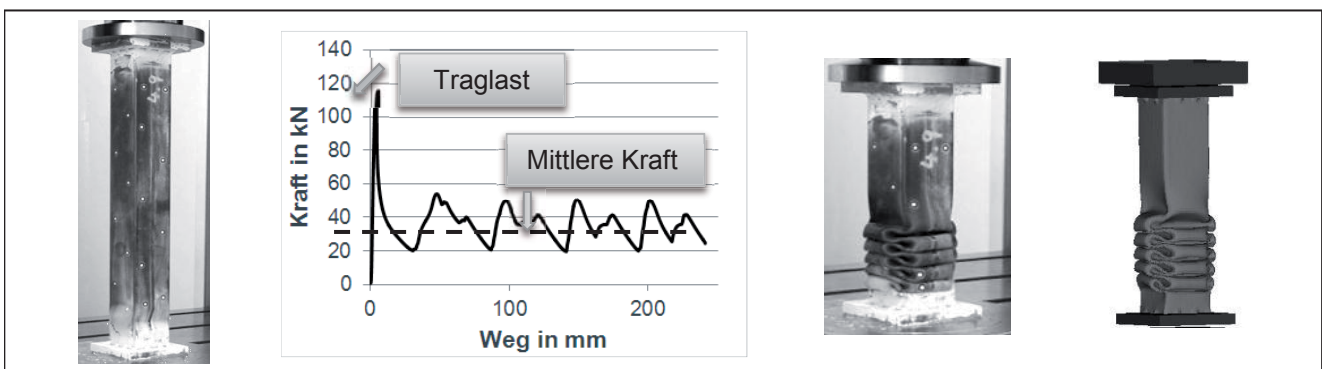


Abb. 3: Profil zu Beginn und am Ende der Versuchsdurchführung; beispielhaftes Versuchsergebnis und eine simulierte Deformation (rechtes Teilbild)

#### 3.1 Charakterisierung der Versuchskörper

Es werden jeweils Vierkantrohrabschnitte aus einem 6 m langen Halbzeug hergestellt. Aus einem Abschnitt des Halbzeugs am Anfang, in der Mitte und am Ende werden jeweils Zugproben entnommen, um das Material zu charakterisieren. Ferner wird die Blechdicke zufällig gewählter Versuchskörper mit Ultraschallmesstechnik punktuell ermittelt, um einen Eindruck von der Blechdickenverteilung zu gewinnen. Die Ultraschallmessungen zeigen geringe Dickschwankungen über der Länge der Profile dafür aber wahrnehmbare über der Breite auf. Da sich die Ergebnisse der Zugprüfungen des Materials allerdings auf an den Proben per Mikrometer ermittel-

ten Blechdicken beziehen, werden für die spätere Modellierung diese Ergebnisse genutzt. Insgesamt liegen diese Messungen etwas höher als die Ergebnisse der Ultraschallmessungen.

Da die Deformation und der zugehörige Kraft-Weg-Verlauf auch von der Geometrie abhängen, werden die Versuchskörper photogrammetrisch vermessen und die Ergebnisse der Vermessung auf die Seitenflächen des Modells projiziert. Auf der einen Seite lassen sich auf diese Weise die tatsächlichen Dimensionen der Prüflinge gut ermitteln, auf der anderen Seite werden auch die Details der Geometrie ebenso wie globale Ausrichtungsabweichungen (Schiefe, Drehung, Position) erfasst.

### 3.2 Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchsgruppen

Für die Versuche stehen insgesamt Versuchskörper aus drei verschiedenen Halbzeugen zur Verfügung. Abb. 4 stellt einen Auszug der Charakterisierung der Versuchskörper dar. Während sich die Prüflinge aus Halbzeug 2 und 5 (im Folgenden als Gruppe 1 bezeichnet) nicht signifikant unterscheiden, liefern diejenigen aus Halbzeug 4 (Gruppe 2) deutlich andere Ergebnisse. Gruppe 1 weist die höhere Blechdicke bei niedrigerer Fließgrenze auf. Für das Kraftniveau während der Deformation ist dies die dominante Materialeigenschaft (vgl. [17]). Zur Beschreibung der Materialeigenschaften wird im Modell ein Skalierungsfaktor einer plastischen Fließkurve genutzt. Dabei entspricht der Wert 1 einer Fließgrenze von 380 MPa. Der Faktor für „Seite 3“ ist in beiden Gruppen erhöht, da die Zugproben hier die aufgehärtete Schweißnaht enthalten. Ferner zeigen die Zugversuche für Gruppe 2 eine ausgeprägte Streckgrenze; diese Eigenschaft kann jedoch im numerischen Modell nicht berücksichtigt werden.

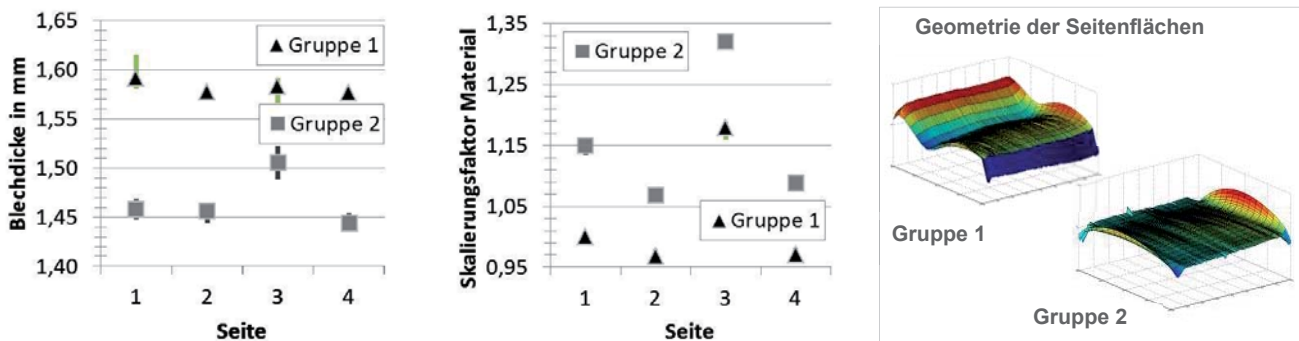


Abb. 4: Unterschiede zwischen den Versuchskörpern der beiden charakteristischen Gruppen

Durch die Messungen ist die epistemische Ungewissheit im Hinblick auf die Kriterien Blechdicke und Skalierungsfaktor für die Materialeigenschaften deutlich reduziert worden und es ist bekannt, dass sich Prüflinge aus unterschiedlichen Gruppen signifikant unterscheiden. Auch bzgl. der Beschreibung der Geometrie konnte die epistemische Ungewissheit reduziert werden - für Gruppe 1 sind die Seitenflächen stärker über die Breite gewölbt und der Kantenradius ist weniger scharf als bei Gruppe 2. Wie stark der Einfluss dieser Kenntnisse ist, werden die folgenden Untersuchungen zeigen.

### 3.3 Ergebnisse der experimentellen Untersuchung

Die Experimente liefern insgesamt 14 gültige Messergebnisse für Gruppe 1 und zehn für Gruppe 2. Der Mittelwert der mittleren Kraft während der Deformation unterscheidet sich deutlich (vgl. Abszisse in Bild 5). Der gemessene Unterschied zwischen den beiden Prüflingsgruppen spiegelt sich also auch in den Ergebnissen wider. Außerdem zeigt Gruppe 2 eine erheblich stärkere Streuung bzgl. der Traglast. Innerhalb beider Gruppen sind Versuche mit einem Beginn des Faltenbeulens sowohl oben als auch unten am Profil zu beobachten – in einem Fall initiiert es in der Mitte.

In der Darstellung der Traglast in Bild 5 fehlt ein Ausreißer mit 100,6 kN und 89,6 kN für Gruppe 1 bzw. Gruppe 2. Die eingezeichneten Ellipsen werden auch in den folgenden Abbildungen als Hilfe zur Einordnung der Simulationsergebnisse in Relation zu den Versuchsergebnissen dargestellt.



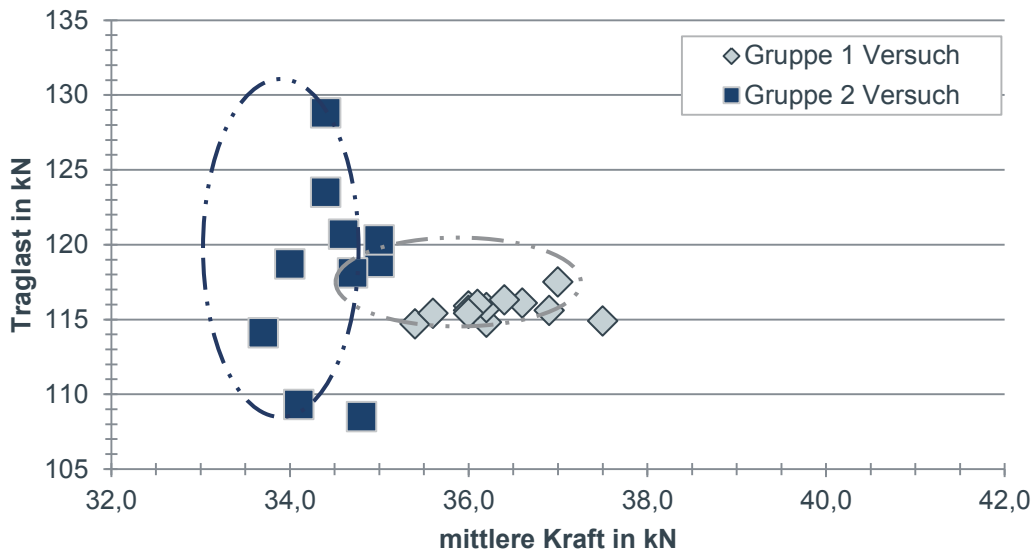


Abb. 5: Versuchsergebnisse Traglast und mittlere Kraft der Gruppen 1 und 2 im Vergleich

## 4 Berechnung

### 4.1 Modellaufbau und Modellierungsannahmen

Die Modellierung des Vierkantrohres erfolgt mit unterintegrierten Schalenelementen entsprechend der Formulierung nach Belytschko-Tsay. Im Bereich der Radien werden Dreieckselemente gewählt, da diese eine bessere Abbildung der Deformation erlauben. Die angeschweißten Deckplatten werden durch Solid-Elemente modelliert. Die Referenzebene ebenso wie der Druckstempel werden mit Schalenelementen abgebildet, der Stempel zur Aufbringung der Last des Weiteren durch einen Starrkörper ideal versteift. Für die Standfläche des Prüflings werden alle Freiheitsgrade gesperrt, der Stempel hat lediglich einen globalen Freiheitsgrad in Vorschubrichtung. Die Anbindung zwischen Deckplatten und Vierkantrohr wird durch einen Starrkörper abgebildet, der an beiden Enden des Rohres die Knoten des freien Querschnitts, die Knoten der Position der Schweißstellen sowie geeignete Knoten auf der Deckplatte enthält. Der Lastfall wird durch eine vorgegebene Weg-Zeitkurve des Stempels repräsentiert. Innerhalb des Vierkantrohres sind neun „Parts“ definiert - jeweils für eine Seitenfläche, für einen Radius und zusätzlich ein Part zur Darstellung der Schweißnaht. Auf diese Weise können diesen Bereichen einfach jeweils individuell variierende Eigenschaften zugewiesen werden. Es sind Kontakte mit den üblichen Parametern definiert zwischen „Referenzebene – untere Deckplatte“, „Deckplatten – Rohr“, „obere Deckplatte – Stempel“ sowie ein Selbstkontakt für das Rohr. Die Parts für die Definition der Radien bekommen auf Grund überschlägiger Berechnungen eine Vordehnung von 32% aufgeprägt. Für die Blechdicke im Bereich der Radien wird ein aus den Werten für die Seiten gemittelter Wert angenommen, da keine Messwerte zur Verfügung stehen. Die Schweißnaht wird durch eine Elementreihe mit leicht erhöhten Material- und Dickeneigenschaften abgebildet.

### 4.2 Abbildung und Einfluß der gemessenen Geometrien

In Weiterentwicklung der zuvor präsentierten Ergebnisse wird ein stärker automatisierter Algorithmus (basierend auf der MapLib des Fraunhofer SCAI) für die Abbildung der gemessenen Geometrien im Modell verwendet. Dabei werden vor allem die Eigenschaften in den Radienbereichen besser erfasst – zusätzlich werden die globalen Geometrieabweichungen (Schiefe, Drehung, Position) direkt mitabgebildet, so dass diesbezüglich weniger Annahmen getroffen werden müssen.

In Abb. 6 links ist der Unterschied zwischen einer idealen quadratischen Geometrie (schwarz gebrochen) und der gemessenen (dunkelblau) deutlich zu erkennen. Zusätzlich ist (orange) die im Berechnungsmodell verwendete Geometrie dargestellt; diese ist um die halbe Blechdicke „nach innen“ versetzt. In ihrer Kontur entspricht sie der gemessenen Geometrie. Da die Geometrien auf die untere Deckplatte ausgerichtet wurden, werden auch globale Positionsunterschiede – wie in der Mitte zu erkennen – abgebildet. Rechts ist ferner dargestellt, wie sich die typischen Geometrien der Gruppe 1 und 2 (blau) unterscheiden. Dies wird an der unteren Kante besonders deutlich, an der Gruppe 1 eine deutliche Wölbung aufweist. Den jeweiligen Geometrieabbildungen werden diskrete Werte zugeordnet, so dass sie an Hand dieser als Parameter in der stochastischen Analyse genutzt werden können.

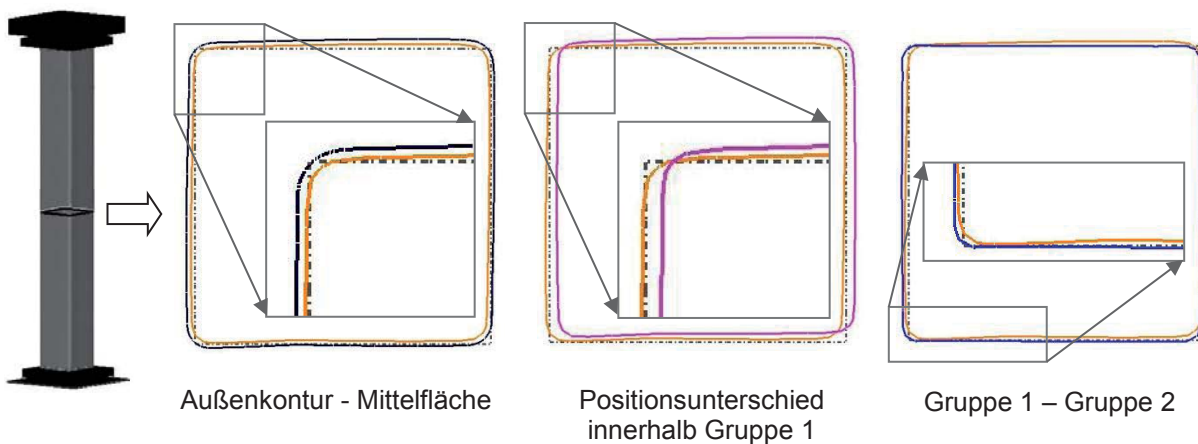


Abb.6: Details der Geometrieabbildung

### 4.3 Abgleich des Modells

Um die Berechnungen unter Parametervariation entsprechend der physikalischen Versuchskörpercharakterisierung durchführen zu können, ist zuerst ein Abgleich des Modells auf das globale Verhalten aus dem Versuch nötig. Hierzu wird ein Modell entsprechend einer gemessenen Geometrie aus Gruppe 1 aufgebaut, ferner werden die Materialparameter und die Wandstärken entsprechend der Messungen uniform pro Seitenfläche abgebildet. Die Berechnungen werden mit Virtual Performance Solution 2011 durchgeführt, dabei wird die Lastdauer von 240 s in Realität auf 100 ms in der Berechnung skaliert. Eine vorgeschaltete Studie zur Geschwindigkeitsskalierung an einem nicht-kalibrierten Ausgangsmodell hat nur eine geringe Abhängigkeit der Abgleichskriterien von der Geschwindigkeits-skalierung bei einer Rechendauer höher als 100 ms ergeben. Die Belastbarkeit dieser Annahme wird in Abschnitt 4.7 erneut mit dem abgeglichenen Modell betrachtet. In Abb. 7 sind detailliert die Ergebnisse des kalibrierten Modells im Vergleich zum entsprechenden Versuchsergebnis dargestellt (Zeitachse entsprechend Versuch beschriftet).

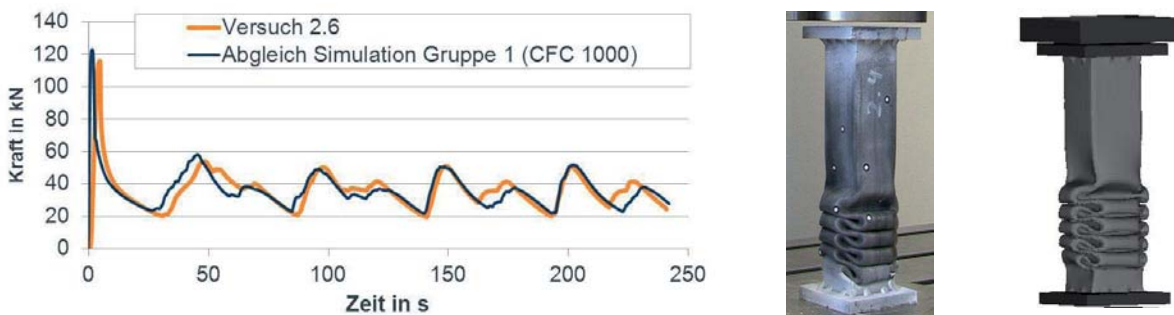


Abb. 7: Ergebnis des Modellabgleichs für ein Rohr aus Gruppe 1

Das Simulationsergebnis weist ebenso wie der reale Versuch eine Deformation durch regelmäßiges Faltenbeulen auf. Dies spiegelt sich auch in der guten qualitativen Übereinstimmung des Kraftverlaufs über der Zeit wider. Während die Traglast in der Simulation mit 122,9 kN leicht überschätzt wird, liegt die mittlere Kraft über den gesamten Deformationsverlauf mit 36,3 kN sehr gut im Bereich der Versuchsergebnisse (vgl. Abb. 5).

### 4.4 Berücksichtigung variierender Parameter

Nach dem erfolgreichen Abgleich des Modells unter Berücksichtigung der bekannten mittleren physikalischen Eigenschaften kann nun der Einfluss variierender Parameter auf das Modellverhalten geprüft werden.

Für die stochastische Analyse werden insgesamt 25 Parameter nach einem Latin-Hyper-Cube-Sampling variiert. Diese betreffen die Blechdicken, die Fließgrenzen, die Abbildung der Geometrie sowie die Ausrichtung der angeschweißten Deckplatten. Für die nachfolgenden Analysen, werden jeweils 30 Parameterkombinationen erzeugt und ausgewertet. Die Stichprobe in der Simulation ist also größer als bei den realen Versuchen. Die maximale Variation für die Blechdicken beträgt +/- 0,01mm; für die Materialeigenschaften erfolgt eine Skalierung

der Fließkurven mit einem Faktor zwischen 0,99 und 1,01. Für die Translationen wird +/- 1mm gewählt, während die Rotationen auf maximal 0,5° in beide Richtungen beschränkt werden. Alle Parameter werden basierend auf der Annahme einer Gleichverteilung variiert.

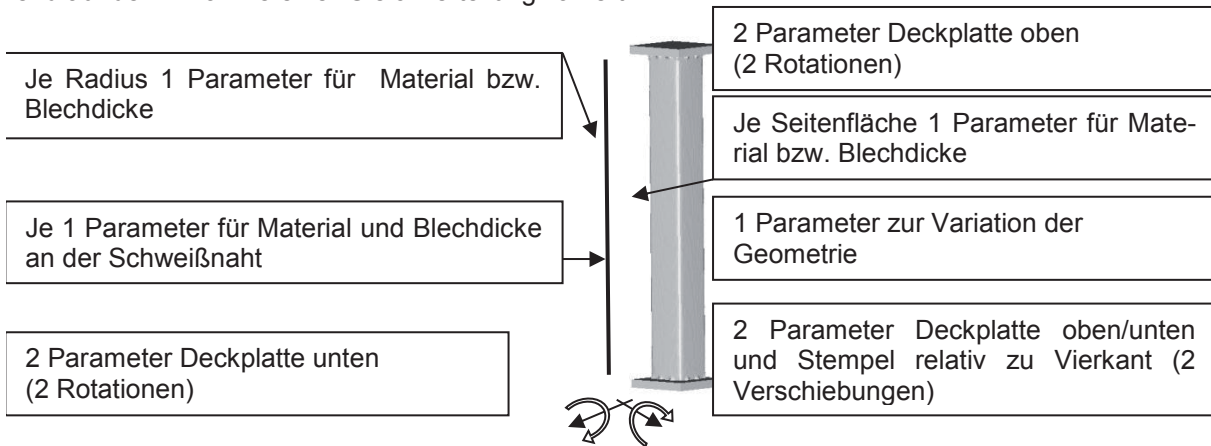


Abb. 8: Zuordnung der 25 variierten Parameter

Die Variation aller Parameter liefert eine gute Abdeckung der Versuchsergebnisse für beide Gruppen bzgl. der Kraftkennwerte und dem Auftreten des Faltns oben bzw. unten. Dabei wird für beide Gruppen die identische Modellierung verwendet, lediglich die aus Messungen gewonnenen Parameter werden bzgl. ihres Mittelwertes angepasst. Nach der Kalibrierung des Modells an Hand eines Stützpunktes ist das Modell also gut in der Lage, die Ergebnisvariation innerhalb Gruppe 1 abzubilden, die Übertragung auf die entsprechende Definition für Gruppe 2 zeigt eine grundsätzlich zufriedenstellende Abbildung der Versuchsergebnisse. Insgesamt allerdings ist die Entsprechung schlechter. Auch besteht bzgl. der Abbildung der Traglast noch Verbesserungspotential, diese wird insgesamt überschätzt.

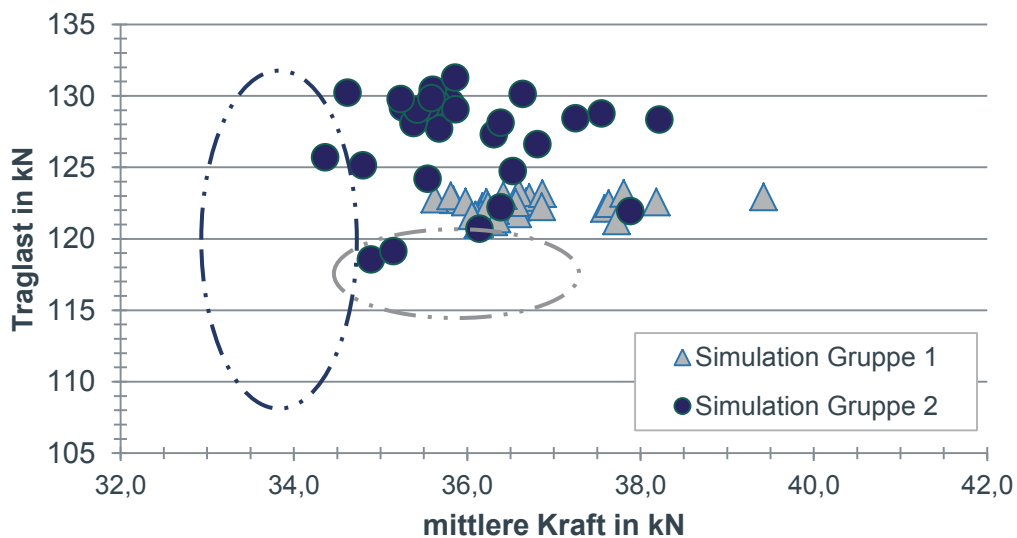


Abb. 9: Ergebnisse der ersten Variationsanalyse

Nach einer eingehenden Analyse des Verhaltens der Modelle für Gruppe 2 haben sich die Details der Geometriemodellierung im Bereich der Radien als dominanter Einfluß vor allem auf die mittlere Kraft herausgestellt. In diesem Bereich ergeben sich durch die Diskretisierung unweigerlich die größten Abweichungen zwischen Modell und Realität sowohl bzgl. der Blechdicke als auch der Geometrie. Ein Verschieben der im Radienbereich liegenden Knoten um 0,25 mm nach innen (vgl. Abb. 10 rechts) – also ein geringfügiges Vergrößern der Radien – führt zu einer deutlich verbesserten Übereinstimmung der Ergebnisse vor allem bzgl. der mittleren Kraft. Dieses modifizierte Modell Gruppe 2\* dient als Basis für alle folgenden Untersuchungen.

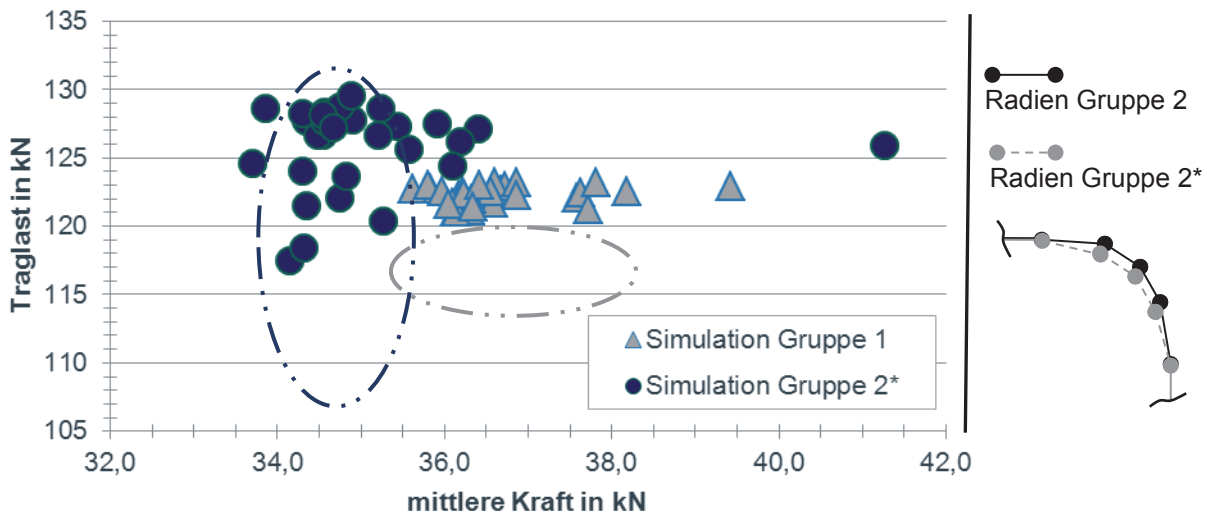


Abb. 10: Ergebnisse der Variationsanalyse mit verändertem Eckradius Gruppe 2\*; rechtes Teilbild: Verschiebung der im Radienbereich liegenden Knoten

Die Simulationen zeigen in der Regel ein den Versuchen sehr ähnliches Deformationsverhalten, d.h. die Deformation initiiert nah an einer der Endplatten und verläuft ohne extensionales Verhalten in regelmäßigem Faltenbeulen. Bei einigen Simulationen initiiert die plastische Deformation in deutlicher Entfernung von den Deckplatten; im Hinblick auf die Kraftkennwerte sind diese Simulationen unauffällig. Der Ausreißer bzgl. der mittleren Kraft für Gruppe 2\* zeigt eine bei den Versuchen nicht beobachtete Kombination aus Faltenbeulen und Torsion des Profils, die offensichtlich eine erhöhte Energieabsorption mit sich bringt.

#### 4.5 Signifikante Eigenschaften der Gruppe 2

Die Vergrößerung des Eckradius trägt dazu bei, die Übereinstimmung zwischen Versuch und Simulation für Gruppe 2 zu verbessern. Unklar bleibt danach allerdings noch, welche Eigenschaft der Prüflinge zu dem starken Unterschied in der Variation der Traglast führt. Um den Einfluss der Geometrie zu untersuchen, wird in einem Modell die Kombination der Geometrien zu Gruppe 1 mit den Materialeigenschaften und Blechdicken der Gruppe 2 untersucht. Abb. 11 rechts oben illustriert, dass dies nicht der entscheidende Einfluss ist. In einem zweiten Ansatz wird links unten ohne Erfolg die Blechdicke von „Seite 3“ auf die Größenordnung der anderen drei Seiten reduziert – um die Homogenität zwischen den Blechdicken auf einem ähnlichen Niveau wie für „Gruppe 1“ abzubilden. Rechts unten schließlich ist ein stark verschobenes Blechdicken zu Fließgrenzenverhältnis umgesetzt – die aus den Versuchen ermittelten Fließgrenzen werden jeweils mit 0.825 skaliert. Dadurch wird das Verhältnis von quadrierter Blechdicke zu Fließgrenze künstlich über das von Gruppe 1 gehoben. Um den dadurch verringerten absoluten Streubereich der Fließgrenze durch die prozentuale Parametrierung mindestens zu kompensieren, werden die Grenzen des Verteilungsraums auf +/- 2% erhöht.

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass das Verhältnis zwischen Blechdicke und Fließgrenze einen erheblichen Einfluss auf die Streuung der Traglast im Modell hat. Dieser Sachverhalt wird zum Beispiel bei Mahmood [14] im Zusammenhang mit dem Übergang von regelmäßigem Faltenbeulen zu unregelmäßigeren Deformationsformen analysiert. Mit steigender Streckgrenze bei identischer Blechdicke reagiert der Prüfling zunehmend sensibler auf Geometrie-Imperfektionen, die auf Grund der projizierten Vermessungsdaten im Modell vorhanden sind. Eine weitere Reduzierung der Materialskalierung (ohne Darstellung der Ergebnisse) führt zu einer noch stärker verringerten Variation der Traglast bis auf das Niveau der Gruppe 1 bzgl. dieses Aspekts. Die gewählte Modellierung ist in erster Näherung in der Lage diese Abhängigkeit zwischen Fließgrenze, Blechdicke und Variation der Traglast abzubilden.



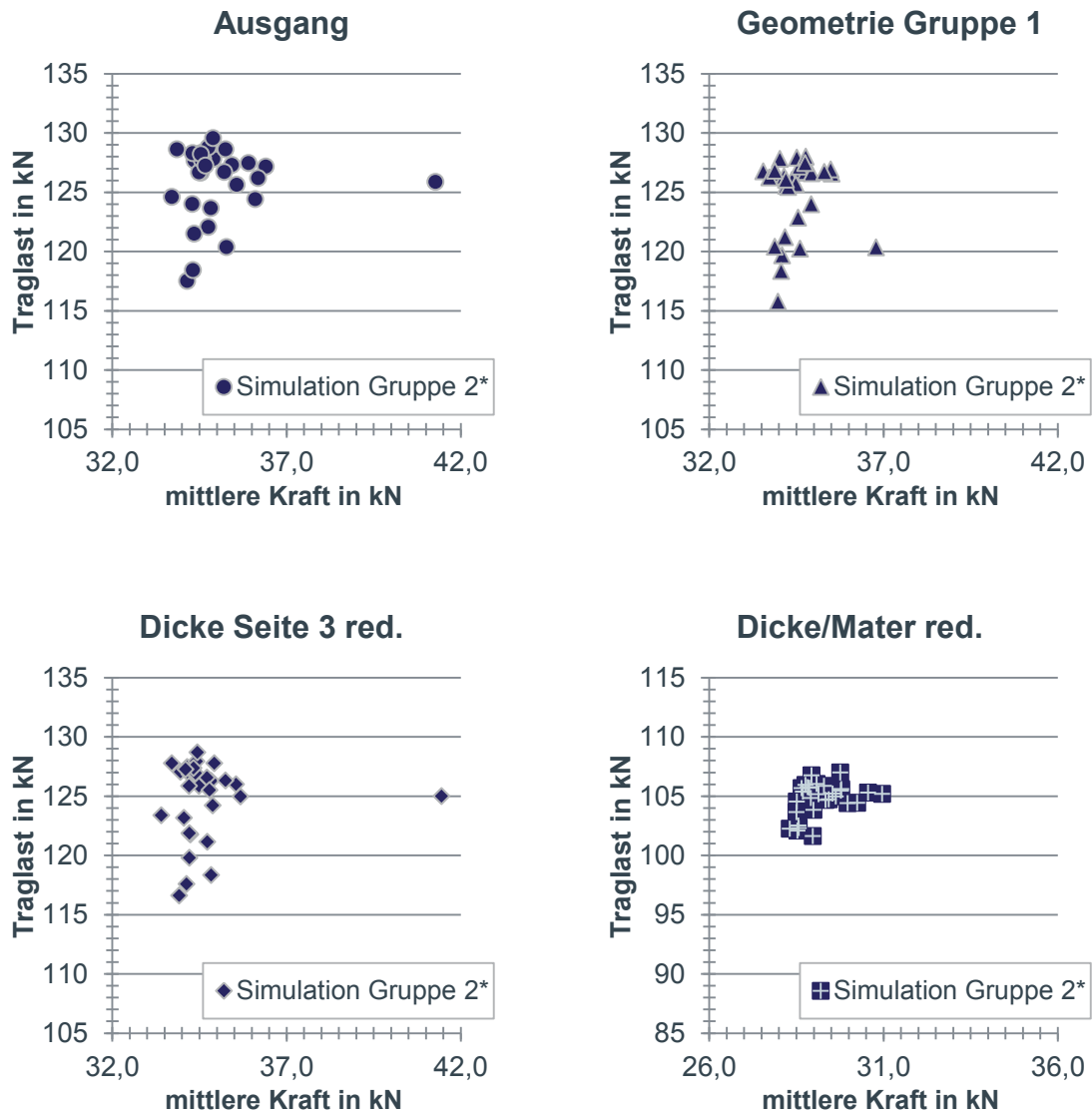


Abb. 11: Variationsbetrachtungen Gruppe 2\* entsprechend jeweiliger Überschrift

#### 4.6 Variation einzelner Parametergruppen

Durch die Untersuchung einzelner Gruppen von Parametern an Hand des Modells für Gruppe 1 soll nun überprüft werden, ob das real beobachtete Verhalten für den vorliegenden Lastfall mit der Variation einer Untergruppe der Parameter abgebildet werden kann. Die untersuchten Parametergruppen sind wie folgt jeweils der gesamte Parameterraum:

- ohne Geometrievariation,
- ohne Blechdickenvariation,
- ohne Fließgrenzenvariation,
- ohne Lastrichtungsva-riation (Winkelvariation und Verschiebung der Deckplatten).

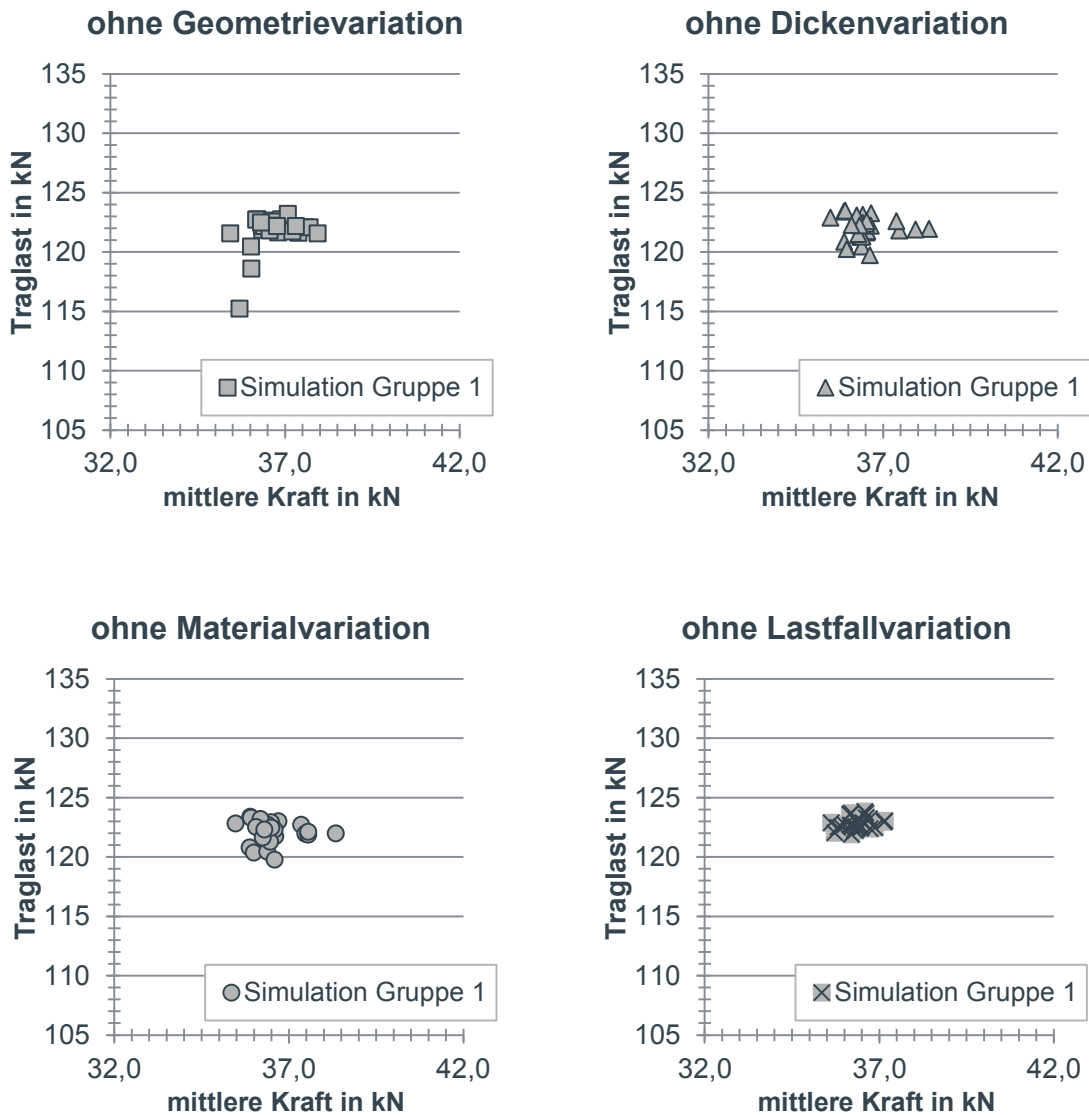


Abb. 12: Variationsbetrachtungen Gruppe 1 entsprechend Überschrift

Die Verteilung der Ergebnisse ändert sich lediglich im Detail, wenn die Variation der Geometrie, Blechdicke oder Materialskalierung nicht berücksichtigt wird. Allein die Fixierung der Lastrichtung in Form der Rotation und Verschiebung der Deckplatten zeigt eine merkliche Reduktion in der Ergebnisbreite der mittleren Kraft. Diese Parameter haben also einen signifikanten Einfluss auf das Simulationsergebnis. Die Berücksichtigung der übrigen betrachteten Parametergruppen scheint nicht zwingend nötig, beeinflusst die Ergebnisse aber auch in keiner Weise negativ. Für aufwändigere Modelle erscheint es zum Beispiel möglich, die Anzahl der Parameter durch Zusammenfassung von Materialeigenschaften und Blechdicken in einem Parameter zu reduzieren. Diese Entscheidung sollte im Einzelfall sorgfältig abgewogen werden.

#### 4.7 Einfluss der Geschwindigkeitsskalierung

Da für die Simulation eine stark überhöhte Bewegungsgeschwindigkeit des Stempels gewählt wird, soll auch diese Modellierungsannahme im Folgenden kurz analysiert werden. Bereits vor den bisher dargestellten Untersuchungen ist der Einfluss der Geschwindigkeitsüberhöhung in der Simulation an einem nicht kalibrierten Modell untersucht worden. Diese Untersuchung hatte zum Ergebnis, dass die Auswirkungen der Stempelgeschwindigkeit ab einer entsprechenden Belastungsdauer von 100 ms in der Simulation gering sind. Die Ergebnisse zu langsameren Simulationen für beide Gruppen sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei wurde die Berechnungsdauer verfünffacht und entsprechend die Stempelgeschwindigkeit um den Faktor 5 verringert. Abgesehen davon wurden identische Parameterwerte wie in den Referenzsimulationen gewählt. Die Darstellung der Ergebnisse zeigt eine Verbesserung der Simulationsergebnisse der Gruppe 2 vor allem bzgl. der Variation der Traglast. Die Ergebnisse der Gruppe 1 verändern sich insofern, als dass der Mittelwert

der mittleren Kraft merklich sinkt, die Streubreite der mittleren Kraft sich deutlich reduziert und die Anzahl der Ausreißer nach unten bzgl. der Traglast deutlich zunimmt. (Ein Ausreißer bzgl. der Traglast mit 100,6 kN ist auch im Versuch beobachtet worden)

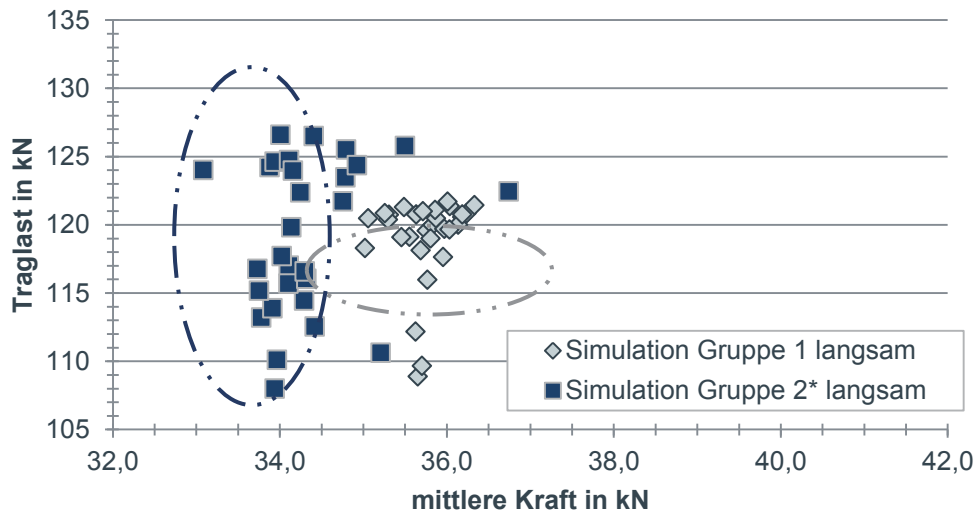


Abb. 13: Variationsbetrachtungen mit geringerer Geschwindigkeitskalierung

#### 4.8 Vergleich zu Berechnungen mit idealer Geometrie

In einer abschließenden Betrachtung soll untersucht werden, welchen Einfluss eine stark idealisierte Abbildung der Geometrie hat. Zu diesem Zweck wird eine Geometrie mit ebenen Seitenflächen und ohne jegliche beabsichtigte Imperfektionen aufgebaut. Die Radien werden insofern berücksichtigt, als dass die entsprechenden Knoten nach innen eingezogen werden.

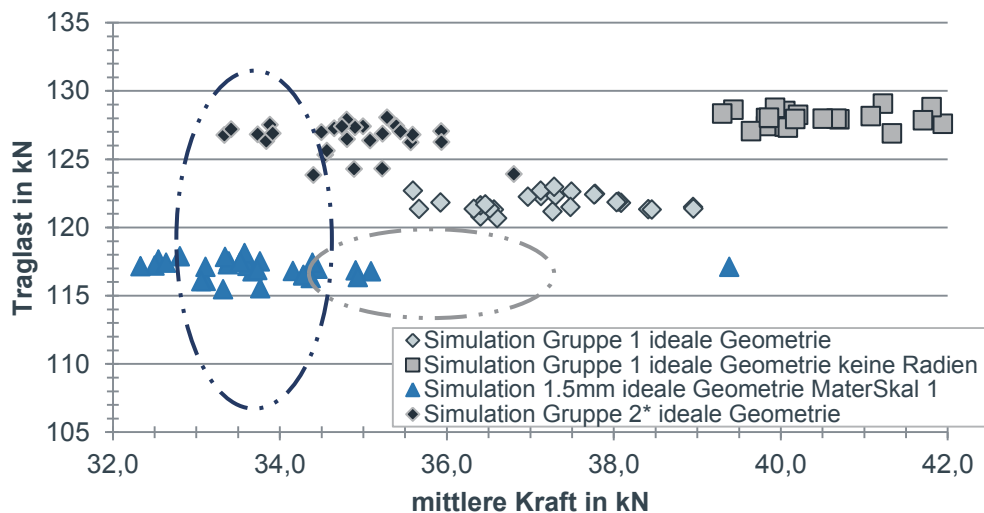


Abb. 14: Variationsbetrachtungen mit idealer Geometrie

Insgesamt werden so vier Konfigurationen untersucht. Die idealisierte Geometrieabbildung hat keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der Gruppe 1. Auch das Ergebnis der imperfekten Geometrien lag ca. 5 kN über den durch die Ellipse dargestellten experimentellen Resultaten. Werden die Radien bei ansonsten identischer Modellierung allerdings zu 90°-Winkeln entartet, steigen sowohl Traglast als auch mittlere Kraft signifikant an. Auch die Deformationen der Profile werden insofern unrealistischer, als dass sie in der Mehrzahl der Berechnungen in der Mitte des Profils initiieren. Ein entgegengesetzter Effekt für die Kraftkennzahlen ergibt sich, wenn die Ausgangswerte der Blechdicken und Materialskalierungen pauschal auf 1,5 mm bzw. 1,0 eingestellt werden. Die Ergebnisse für Gruppe 2 geben mit der idealisierten Geometrie die Variation der Traglast kaum mehr wieder.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In Bezug auf die eingangs formulierten Fragen lässt sich festhalten, dass das vorgestellte Modell grundsätzlich in der Lage ist, die im Versuch beobachteten Variationen sowohl hinsichtlich der Kraftkennwerte als auch des Verlaufs der Deformation abzubilden. Die Identifikation der physikalischen Parameter ist durchaus mit Herausforderungen verbunden, da die Verteilung der Blechdicke nicht einfach zu bestimmen ist. Die gewählte Näherung mit uniformen Blechdicken pro Seite liefert allerdings für dieses Beispiel ausreichend genaue Ergebnisse. Am schwierigsten stellt sich die Ermittlung der Blechdicke im Bereich der Radien dar – hier mussten Annahmen getroffen werden. Der Abbildung der Geometrien in den Radienbereichen kommt auf Grund der starken Abstraktion durch die Diskretisierung besondere Bedeutung zu. Dieser Einfluss wurde gesondert untersucht.

Die Variation der Ergebnisse entspricht bei Variation aller gewählten Parameter gut den Versuchsergebnissen. Zur Reduktion der Parameter, ließen sich Materialeigenschaften und Blechdicken unter Umständen zusammenfassen. Für praktische Anwendungen muss ferner davon ausgegangen werden, dass selten detaillierte Vermessungsdaten mehrerer Prüflinge zur Verfügung stehen.

Die Modellierung lässt sich nach geringfügigen Anpassungen gut auf die Versuchsgruppe 2 übertragen und offenbart so ihr Potential, die untersuchten und ähnliche Lastfälle angemessen in der Simulation abbilden zu können. Verbesserungsbedarf besteht noch bzgl. der Abbildung des Traglastniveaus.

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass geeignet aufgebaute FEM-Modelle in der Lage sein können, reale Versuchsergebnisse auch in Lastfällen mit starken Deformationen sowohl bzgl. des Mittelwerts als auch der Ergebnisvariation wiederholter Versuche mit guter Genauigkeit abzubilden. Die Berücksichtigung und angemessene Abbildung aleatorischer Ungewissheiten ist also gelungen. In diesem Sinn versprechen derartige Modelle eine hohe Prognosegüte im Bereich ihrer Anwendungsgültigkeit.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass für den untersuchten Lastfall Modelle, die die real gemessenen Eigenschaften genauer abbilden auch bessere Ergebnisse liefern. Diese detaillierte Modellierung kann allerdings nur sinnvoll beurteilt werden und Erfolg haben, wenn alle signifikanten Aspekte berücksichtigt werden. Ansonsten ist eine nachteilige Verschiebung der Ergebnisse zu erwarten.

Weitere Untersuchungen sind notwendig. Eine Aussage, dass reale Versuchsanordnungen allein durch Simulationen ersetzt werden können, ist mit diesem Beitrag nicht verbunden.

## 6 Literatur

- [1] Belytschko, T.; Mish, K.: "Computability in Nonlinear Solid Mechanics", International Journal of Numerical Methods in Engineering vol. 52, p. 3-21, 2001
- [2] Roache, P.J.: "A Defense of Computational Physics", Hermosa Pub, 2012
- [3] Yucheng, L.: "Study of Thin-Walled Box Beams Crushing Behavior Using LS-DYNA", 11<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, Detroit, 2010
- [4] Liang, X.; Zhongqin, L.; Zhengxu, L.: "Effects of Initial Geometric Imperfection on Square Tube Collapse", 6<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, Detroit, 2000
- [5] Fyllingen O. et al.: "Simulations of a top-hat section subjected to axial crushing taking into account material and geometry variations", International Journal of Solids and Structures vol. 45, p. 6205-6219, 2008
- [6] Paik, J.K. et al.: "On quasi-static crushing of thin-walled steel structures in cold temperature: Experimental and numerical studies", International Journal of Impact Engineering vol. 38, p.13-28, 2011
- [7] Zhang, X.W. et al.: "Energy absorption of an axially crushed square tube with a buckling initiator", International Journal of Impact Engineering vol. 36, p.402-417, 2009
- [8] Streilein, T.; Hillman, J.: "Stochastische Simulation und Optimierung am Beispiel VW Phaeton", SIMVEC VDI-Tagung, Würzburg, 2002
- [9] Avale, M. et al.: "Stochastic Crash Analysis of Vehicle Models for Sensitivity Analysis and Optimization", ESV 20<sup>th</sup> Conference, Lyon, 2007
- [10] Haldar, A.; Mahadevan, S.: "Reliability Assessment Using Stochastic Finite Element Analysis", John Wiley & Sons, New York u.a., 2000
- [11] Eichmüller, G.; Meywerk, M.: „Stochastische Simulation – Ein Abgleich mit Versuchsergebnissen am Beispiel der Deformation eines Vierkantrohres“, NAFEMS DACH Konferenz 2012, Bamberg, 2012
- [12] Booker, J. M. et al.: "An Engineering Perspective on UQ For Validation, Reliability and Certification", Foundations '04 Workshop for Verification, Validation, and Accreditation in the 21<sup>st</sup> Century, Tempe, 2004
- [13] Hemez, F.M.; Doebbling S.: "Model Validation and Uncertainty Quantification", 19<sup>th</sup> International Modal Analysis Conference, Kissimmee, 2001



- [14] Hemez, F.M. et al.: "Answering the Question of Sufficiency: How much Uncertainty is enough", 1<sup>st</sup> International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics, Sheffield, 2007
- [15] Kiureghian, A. D.; Ditlevsen, O.: "Aleatory or epistemic? Does it matter", Structural Safety vol. 31 p. 105-112, 2009
- [16] DiPaolo, B.P et al.: "Quasi-static axial crush response of a thin-wall, stainless steel box component", International Journal of Solids and Structures vol. 41 p. 3707-3733, 2004
- [17] Mahmood, H.F.; Paluzny, A.: "Design of Thin Walled Columns for Crash Energy Management –Their Strength and Mode of Collapse", SAE Technical Paper 811302, 1981

# Verifikation von Finite-Elemente-Berechnungen mittels 3D-Bildkorrelation

Dipl.-Ing. Christoph Wehmann, Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant, Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg  
(Universität Bayreuth)

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit 3D-Bildkorrelation zur Verifikation von Ergebnissen aus Finite-Elemente-Berechnungen. Die dabei behandelten numerischen Analysen dienen der Bestimmung von Tellerfederkennlinien. Tellerfedern oder Belleville-Federn haben eine spezielle Kennlinie, die je nach geometrischen Abmessungen stark nichtlinear sein kann. Die Charakteristik der Kennlinie wird durch geometrische Nichtlinearitäten bestimmt. Zur Erfassung der geometrischen Nichtlinearität kommen in diesem Beitrag zwei verschiedene Elementformulierungen zum Einsatz, die in der Literatur als „Total Lagrangian formulation“ und „Updated Lagrangian formulation“ bekannt sind. Sie sollen bezüglich der Anwendung auf die Berechnung von Tellerfedern verglichen werden. Zur Bewertung der Ergebnisse kommt die 3D-Bildkorrelation zum Einsatz. In diesem Zusammenhang wird auf die Durchführung der Koordinatentransformationen eingegangen, die für den Vergleich der numerischen mit den experimentellen Ergebnissen notwendig sind. Zusätzlich werden praktische Vorgehensweisen zur Festlegung von Fixpunkten vorgestellt, die die Auswertung der Bildkorrelationsmessungen ermöglichen. Fixpunkte werden gebraucht, um die Messergebnisse realen materiellen Punkten zuzuordnen zu können, deren Koordinaten bekannt sind. Schließlich wird eine generelle Bewertung der 3D-Bildkorrelation vorgenommen.

## 1 Einleitung

Die Erfassung geometrischer Nichtlinearitäten kann mit Hilfe verschiedener Elementformulierungen realisiert werden. In der Literatur findet man in diesem Zusammenhang die als „Total Lagrangian formulation“ und „Updated Lagrangian formulation“ bezeichneten Vorgehensweisen [1]. Für die Gewährleistung von präzisen Ergebnissen aus der Finite-Elemente-Analyse (FEA), insbesondere für den hier vorliegenden Fall von großen Verschiebungen, ist die Verifikation durch experimentelle Ergebnisse notwendig. In diesem Beitrag werden die beiden genannten Elementformulierungen für einen konkreten Anwendungsfall verglichen. Zur Bewertung bzw. Verifikation der jeweils erhaltenen Ergebnisse werden experimentelle Untersuchungen mit Hilfe der 3D-Bildkorrelation durchgeführt.

Um geometrische Nichtlinearitäten bzw. große Verschiebungen im Rahmen der FEA berücksichtigen zu können, kommen spezielle Verzerrungsmaße zum Einsatz [2]. Beispiele sind die Lagrange'sche und die Euler'sche Verzerrung, die je nach Elementformulierung herangezogen werden. Die Lagrange'sche Verzerrung wird bei der Total Lagrangian formulation verwendet, die Euler'sche bei der Updated Lagrangian formulation. Außerdem erfordert die FEA im Falle großer Verschiebungen die Anwendung eines iterativen Lösungsverfahrens, welches in der Regel das Newton-Raphson-Verfahren oder eine Abwandlung davon ist. Das iterative Lösungsverfahren wird nach Unterschreiten einer vorzuziehenden, zulässigen Toleranzgrenze beendet.

Für die Verifikation der angewendeten Finite-Elemente-Methoden können gemessene Kraft-Weg-Kurven, die an ausgewählten Punkten aufgenommen werden, herangezogen werden. Dadurch erhält man eine lokale Verifikation. Als Messequipment werden bei dieser Vorgehensweise eine Kraftmessdose sowie eine Messuhr benötigt. Der Nachteil der Vorgehensweise besteht darin, dass die Messung und damit die Verifikation auf einen oder wenige Punkte (bei Verwendung mehrerer Messuhren) beschränkt ist. Außerdem lassen sich keine Informationen über Deformationsgradienten bzw. Verzerrungen gewinnen.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Verifikation in dieser Hinsicht ist die Betrachtung der Deformation ganzer Oberflächen. Moderne Systeme zur 3D-Bildkorrelation können die dreidimensionale Bewegung ganzer Oberflächen im Laufe der Verformung optisch messen. Die interessierenden Flächen müssen dazu speziell markiert werden. Für den Vergleich der Ergebnisse aus solchen Messungen mit Simulationsergebnissen sind mitunter Koordinatentransformationen nötig, um Messergebnisse und Simulationsergebnisse auf das gleiche Koordinatensystem zu beziehen. Experimentelle Untersuchungen mittels 3D-Bildkorrelation und der Vergleich mit FEA-Ergebnissen sind Inhalt des vorliegenden Artikels. In diesem Zusammenhang wird die Deformation von Tellerfedern betrachtet.

Tellerfedern weisen einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Kraft und Verschiebung auf, der auf Effekte großer Verschiebungen zurückzuführen ist. Hier werden diese Effekte, die zu den geometrischen Nichtlinearitäten gehören, mit Hilfe der zwei zuvor genannten Elementformulierungen berücksichtigt. Zusätzlich zu den Ergebnissen, die die beiden Formulierungen liefern, wird im Folgenden auch auf deren Implementierung eingegangen, welche in dem Freeware- bzw. Open-Source-System Z88 vorgenommen wurde [3].

Die Nichtlinearität bei der Tellerfeder beruht allein auf der geometrischen Nichtlinearität, das Materialverhalten ist, zumindest im Arbeitsbereich der Feder, linear-elastisch. Dementsprechend kommt das Hooke'sche Gesetz, in auf die entsprechend zum Einsatz kommenden Spannungs- und Verzerrungsmaße verallgemeinerter Form, zum Einsatz. Das bedeutet, dass für beide Formulierungen die gleiche, konstante Materialmatrix zur Verknüpfung von Spannungen und Verzerrungen verwendet wird. Bei der Total Lagrangian formulation sind dies die 2. Piola-Kirchhoff'schen Spannungen und die Lagrange'schen Verzerrungen, während es bei der Updated Lagrangian formulation die Cauchy'schen Spannungen und die Euler'schen oder Almansi'schen Verzerrungen sind [4]. Aufgrund der konstanten Materialmatrix liefern die beiden Elementformulierungen verschiedene Verschiebungslösungen bei gleichen Randbedingungen [1]. Wie stark sich dieser Effekt auf die Berechnung von Tellerfedern auswirkt, soll im Folgenden untersucht werden.

## 2 Experimentelle Untersuchungen mittels 3D-Bildkorrelation

Die experimentellen Untersuchungen in diesem Kapitel umfassen Bildkorrelationsmessungen an drei Tellerfedern. Das dabei verwendete Bildkorrelationssystem der Firma Limes besitzt zwei Kameras, die eine Auflösung von je fünf Megapixel aufweisen [5].

Alle drei Proben wurden in drei Schritten präpariert. Als erstes erfolgte ein Aufsprühen von weißer Hintergrundfarbe, um einen guten Kontrast zu erhalten und metallische Reflektionen zu vermeiden. Im zweiten Schritt wurde schwarze Farbe in der Art aufgesprüht, dass nur schwarze Farbpunkte resultieren. Diese auch als „Speckles“ bezeichneten schwarzen Punkte bilden ein irreguläres Muster, das der Bildkorrelationssoftware ermöglicht, materielle Punkte vor, während und nach der Deformation zu identifizieren. In einem dritten Schritt wurden Markierungslinien hinzugefügt, um Fixpunkte zu erzeugen. Die Markierungslinien bestehen aus einer Linie in Umfangsrichtung und radialen Linien, die mittels Anreißstift und Zentrierwinkel in die zu vermessende Oberfläche eingebracht wurden. Die Linie in Umfangsrichtung ist genau in der Mitte zwischen innerem und äußerem Rand, sodass ihre Position auch im Simulationsmodell eindeutig identifizierbar ist. Die Schnittpunkte der radialen Linien mit der Umfangslinie bilden Fixpunkte, die (bis auf die Koordinate in Umfangsrichtung) eindeutig materiellen Punkten zugeordnet werden können. Da Tellerfedern rotationssymmetrisch sind, ist damit die Vergleichbarkeit mit den Simulationsergebnissen gewährleistet. Fig. 1 zeigt eine fertig präparierte Probe.

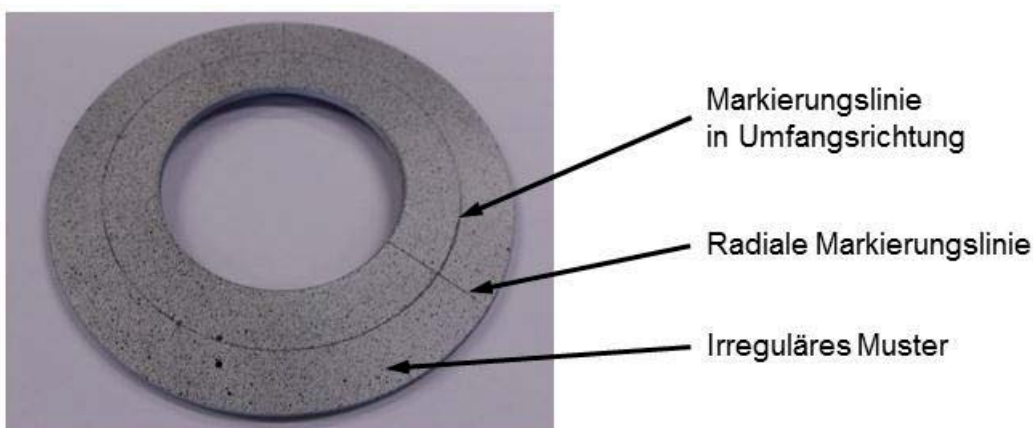


Fig. 1: Präparierte Proben mit irregulärem Muster und Markierungslinien

Der Versuchsaufbau für die Bildkorrelationsmessung an den Tellerfedern ist derart ausgelegt, dass die beiden Kameras möglichst viel der zu vermessenden Fläche erfassen können. Die Lagerung der Feder auf der unteren Seite ist hohl, damit eine Belastung bis über den Durchschlagpunkt hinaus ermöglicht wird. Mit dem Durchschlagpunkt ist die Lage gemeint, in welcher die Feder flach wie eine Scheibe ist. Der Stempel für die Lastaufbringung ist konisch geformt, damit der Durchmesser auf der Seite der Tellerfeder gerade groß genug für

die die Kraftübertragung ist. Dadurch kann die interessierende Fläche bis an den inneren Rand der Feder von den Kameras erfasst werden.

Damit die Bildkorrelationssoftware aus den Messdaten die räumliche Position der materiellen Punkte bestimmen kann, muss die zu vermessende Fläche in dem Blickfeld beider Kameras sein. Bereiche der Messfläche, die nur von einer Kamera eingesehen werden können, lassen sich am Ende nicht auswerten.

Fig. 2 zeigt den Versuchsaufbau. Die Tellerfeder ist derart platziert, dass eine radiale Markierungslinie mittig im Blickfeld beider Kameras liegt. Das Messequipment besteht aus den beiden Kameras sowie einer Kraftmessdose, die an das Bildkorrelationssystem gekoppelt ist und simultan zu den Bildaufnahmen die Federkraft misst. Mit dem Versuchsaufbau lassen sich zwei verschiedene Messergebnisse gewinnen: für eine bestimmte Kraft erhält man die Verformung der gesamten Oberfläche im Blickfeld der beiden Kameras und für einen bestimmten Punkt bekommt man eine Kraft-Weg-Kennlinie.

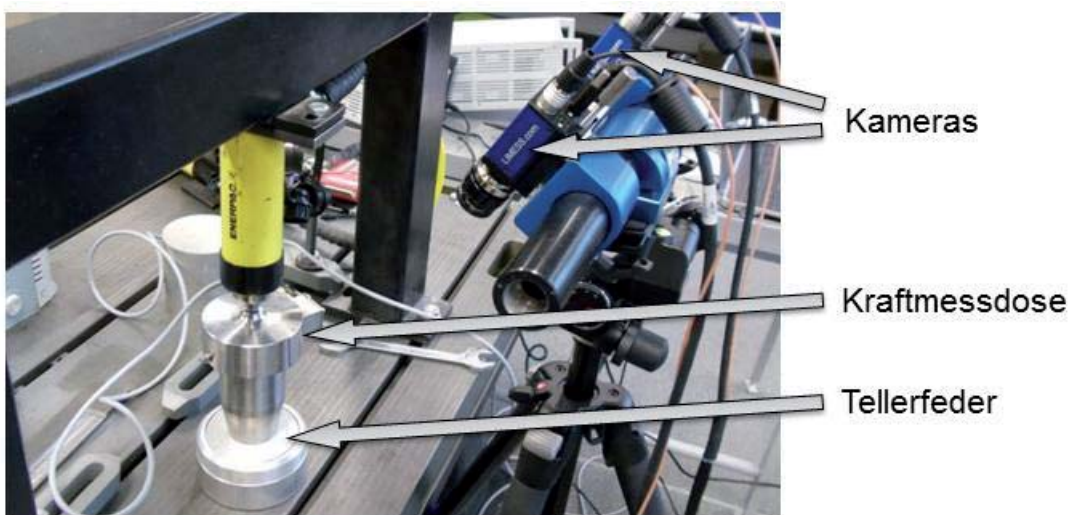


Fig. 2: Versuchsaufbau mit Kameras und Kraftmessdose

Die Messung umfasst die nachstehenden Schritte:

1. Kalibrierung
2. Korrelation
3. Evaluation

Die Kalibrierung muss lediglich zu Beginn der drei Messungen einmal durchgeführt werden. Vor der Messung der zweiten sowie der dritten Probe muss sie nicht wiederholt werden. Es ist allerdings darauf zu achten, dass das Stativ mit den Kameras zwischen den Messungen nicht zu stark erschüttert wird. Theoretisch kann das Stativ nach der Kalibrierung versetzt werden, da eine erneute Kalibrierung nur erforderlich ist, wenn sich die relative Position der Kameras zueinander verändert hat. Jedoch ist es am sichersten, das Stativ an seinem Platz zu belassen und nicht zu berühren.

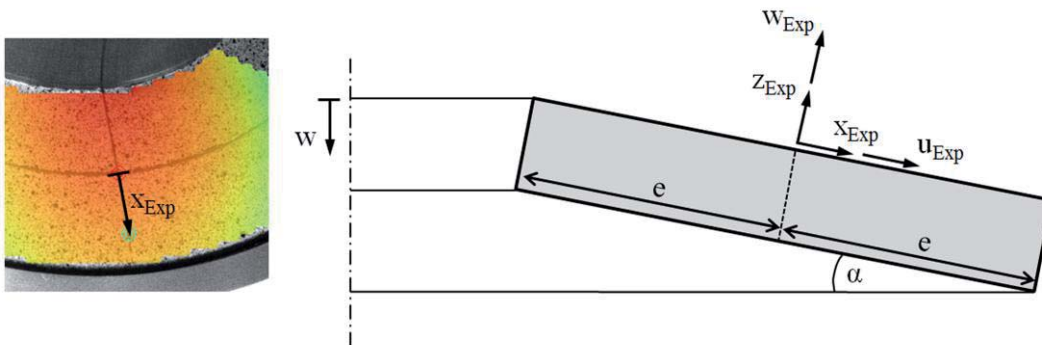
### 3 Analyse der experimentellen Ergebnisse

Die 3D-Bildkorrelation liefert die Oberflächendeformation der Messfläche für jeden Zeitschritt, für jeden Zeitschritt wird außerdem der Kraftwert aufgezeichnet. Ein Zeitschritt oder Zeitpunkt wird dabei für die hier durchgeführten Messungen durch einen manuellen Messbefehl festgelegt. Durch dieses Vorgehen sind die Messintervalle zeitlich nicht exakt gleich groß, aber da die Belastung relativ langsam aufgegeben wird, treten keine zeitabhängigen Effekte auf.

Die ersten Auswertungen betreffen die Verformung einer radialen Markierungslinie für verschiedene Kräfte. Fig. 1 und Fig. 3 (links) zeigen die radiale Markierungslinie. Um eine technisch sinnvolle Verschiebung  $w$ , die parallel



zur Krafrichtung ist, zu erhalten, werden Koordinatentransformationen durchgeführt. Diese Koordinatentransformationen rechnen zwischen den in Fig. 3 gezeigten Koordinatensystemen um. Die Bildkorrelationssoftware liefert Ergebnisse, die in den Koordinaten mit dem Index „Exp“ gemessen sind.



$$w = u_{Exp} \cdot \sin(\alpha) - w_{Exp} \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

Fig. 3: Definition der relevanten Koordinatensysteme

Mit Hilfe von Gleichung (1) kann aus den gemessenen Verschiebungen die gesuchte Verschiebung  $w$  berechnet werden. Der Verlauf der Verschiebung  $w$  entlang der radialen Koordinate ist in den Figuren 4, 5 und 6 abgedruckt. Jede Kurve in diesen Diagrammen gehört zu einer bestimmten Federkraft.

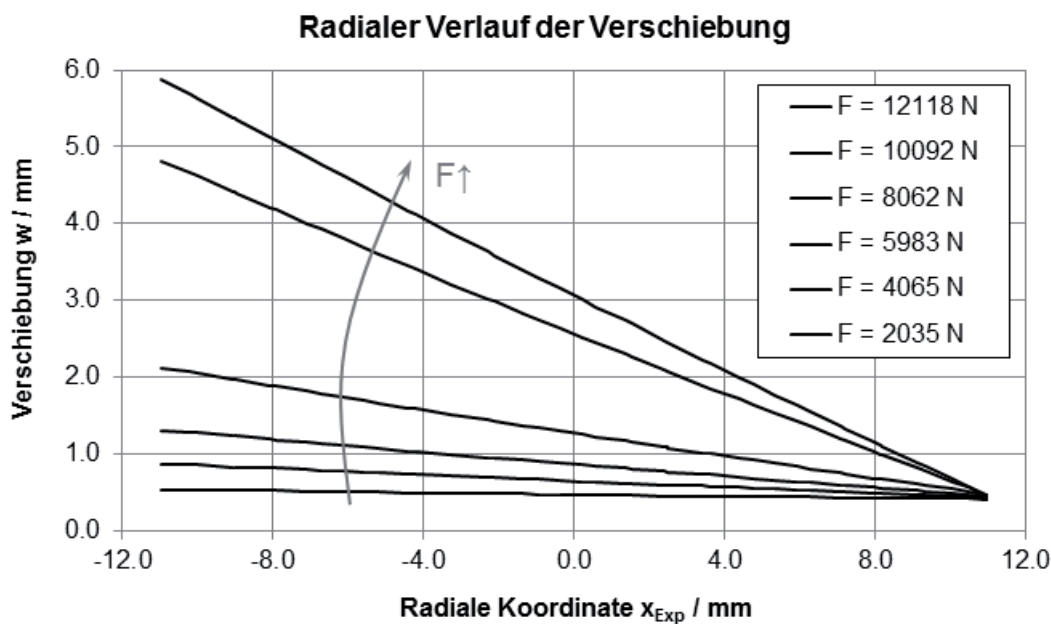


Fig. 4: Ergebnisse der ersten Bildkorrelationsmessung

Die Figuren 4, 5 und 6 gehören zu einer der drei Proben, die vermessen wurden. Die Nullposition der radialen Koordinate ist in der Mitte der vermessenen Oberfläche, genau auf der Markierungslinie in Umfangsrichtung (siehe Fig. 3).

Die Tellerfeder, die im Rahmen dieses Beitrags untersucht wurde, hat die folgenden Dimensionen:

Äußerer Durchmesser:	$D = 100 \text{ mm}$
Innerer Durchmesser:	$d = 51 \text{ mm}$
Stülphöhe:	$h = 3.5 \text{ mm}$
Dicke:	$t = 2.7 \text{ mm}$

Die Abmessungen sind dabei gemäß der Norm DIN 2092 definiert [6].

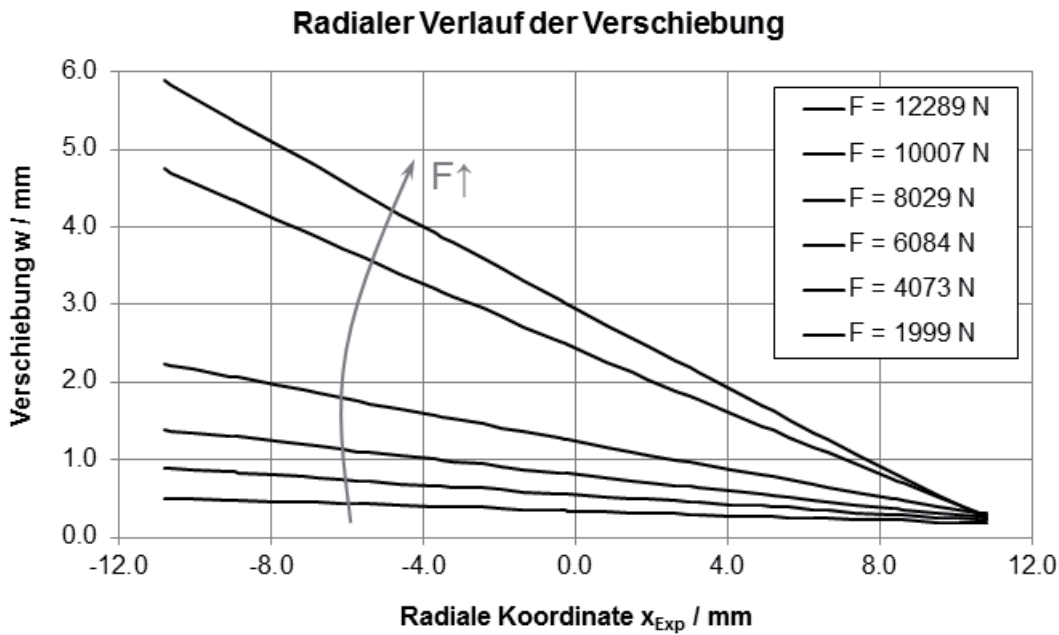


Fig. 5: Ergebnisse der zweiten Bildkorrelationsmessung

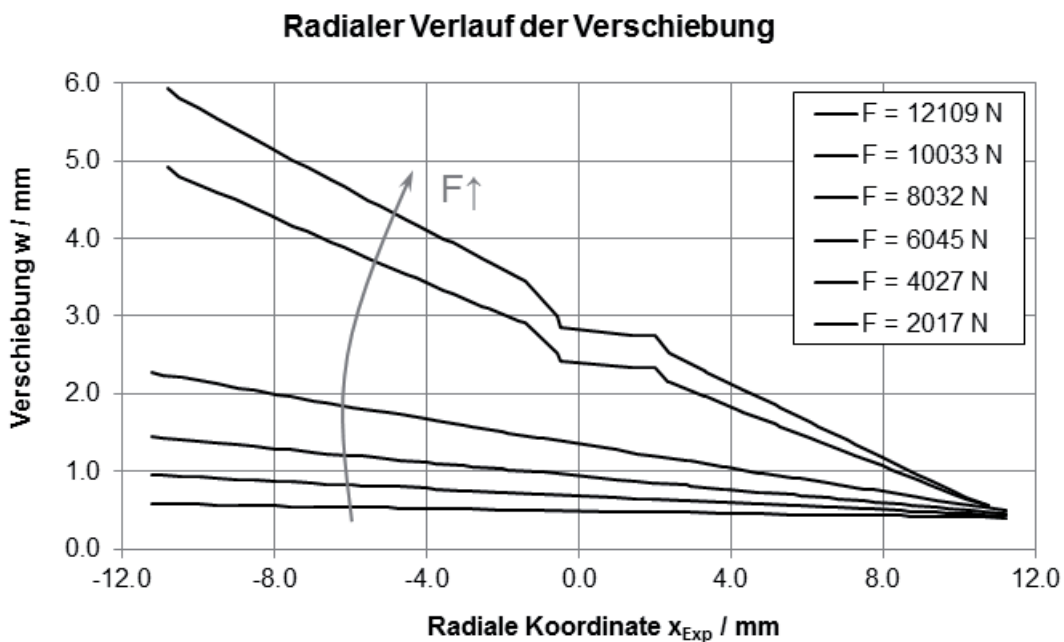


Fig. 6: Ergebnisse der dritten Bildkorrelationsmessung

Schließlich sind in Fig. 7 sämtliche drei gemessenen Federkennlinien gezeigt. Sie entsprechen der Auswertung der in Fig. 4 bis Fig. 6 abgebildeten Linien an der inneren Kante der vermessenen Ringfläche, wobei die innere Kante der kleinsten radialen Koordinate zuzuordnen ist. Die Federkennlinien sind damit als „Zeit-Plot“ der Bewegung eines materiellen Punkts an der inneren Kante der Tellerfeder zu interpretieren.

Die Abweichung der drei einzelnen Federkennlinien voneinander ist relativ klein, sodass die Messungen als reproduzierbar bewertet werden können.

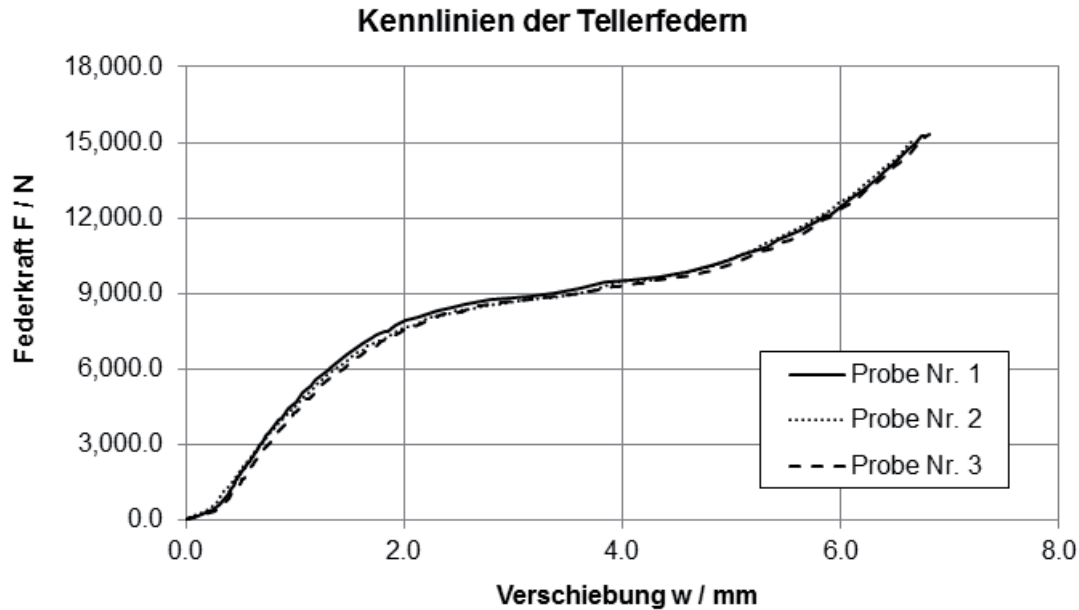


Fig. 7: Auswertung der Messdaten an der inneren Kante ( $x_{Exp} = -e$ )

#### 4 Finite-Elemente-Analyse von Tellerfedern

Die in diesem Kapitel gezeigten Berechnungen wurden mittels finiter Elemente durchgeführt, die in der Lage sind, geometrische Nichtlinearitäten zu erfassen. Das dabei entstehende, nichtlineare Gleichungssystem wird iterativ gelöst. Die Durchführung der Berechnungen erfolgte mit Z88 bzw. Z88NL, welches der nichtlineare Solver in Z88Aurora V2 ist [7].

Bezüglich des Elementtyps kommen Tetraeder vom Z88-Elementtyp Nr. 16 zum Einsatz. Diese Tetraeder besitzen quadratische Formfunktionen und werden durch zehn Knoten definiert. Das Finite-Elemente-Netz wird durch den in Z88Aurora V2 integrierten Vernetzer NETGEN erzeugt [8].

Da die Tellerfeder ein rotationssymmetrisches Maschinenelement ist, könnten auch Toruselemente eingesetzt werden, um die Rechenzeit zu reduzieren. Jedoch sind aktuell Toruselemente (Z88-Elementtyp: Torus Nr. 8) allein mit der Total Lagrangian formulation in Z88NL verfügbar und es gäbe daher keine direkte Vergleichsmöglichkeit. Für die uneingeschränkte Vergleichbarkeit kommt daher der Tetraeder Nr. 16 zum Einsatz, der mit beiden Elementformulierungen verfügbar ist. Die Ergebnisse können anschließend aber auch auf das Toruselement übertragen werden, zumindest für den Fall der Total Lagrangian formulation, da Tetraeder- und Toruselemente mit quadratischen Ansatzfunktionen für diese Formulierung die gleichen Ergebnisse liefern [9]. Fig. 8 zeigt beide Elementtypen mitsamt Knotennummerierung.

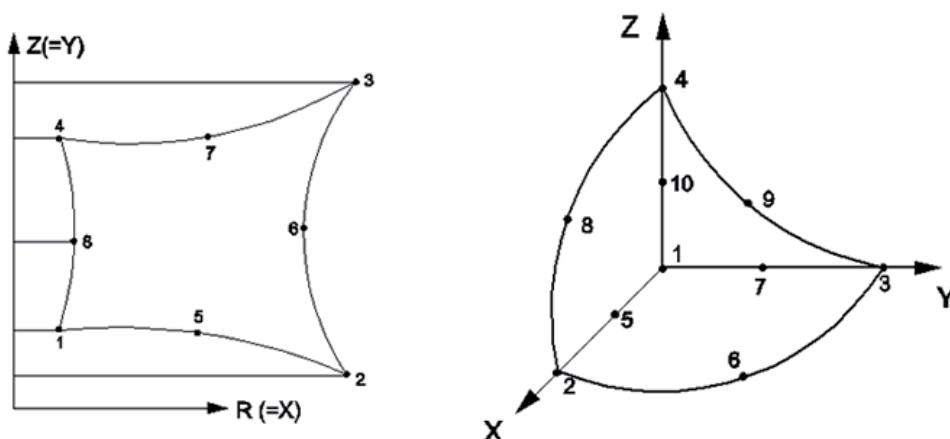


Fig. 8: Torus Nr. 8 (links) und Tetraeder Nr. 16 (rechts) aus Z88 [7]

Nachstehend sind in Fig. 9 die beherrschenden Differentialgleichungen beider Elementformulierungen, der Total Lagrangian formulation (2) und der Updated Lagrangian formulation (3), sowie die zugehörigen schwachen Formen (4) und (5) aufgelistet. Sämtliche vier Gleichungen sind aus [4] entnommen. Die schwachen Formen (4) und (5) lassen sich mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Verschiebungen herleiten. Die linke Seite von Gleichung (4) bzw. Gleichung (5) stellt die innere virtuelle Arbeit dar, während die rechte Seite jeweils die äußere virtuelle Arbeit ist. Alle Größen der Total Lagrangian formulation sind auf die unverformte Struktur bezogen, daher entsprechen die Integrationsgebiete der beiden Integrale in Gleichung (4) dem Volumen  $V$  des unverformten Bauteils. Analog sind sämtliche Größen der Updated Lagrangian formulation auf die verformte Struktur bezogen und das Integrationsgebiet in Zusammenhang (5) ist das Volumen  $v$  des verformten Maschinenelements bzw. dessen Hüllfläche.

$$DIV(\mathbf{P}) = DIV(\mathbf{FS}) = \mathbf{0} \quad (2)$$

$$div(\boldsymbol{\sigma}) = \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\iiint_V \mathbf{S} \cdot \delta \boldsymbol{\lambda} dV = \iint_{\partial V} \mathbf{t}_0 \cdot \delta \mathbf{u} dA \quad (4)$$

$$\iiint_v \boldsymbol{\sigma} \cdot \delta \boldsymbol{\varepsilon}_U dv = \iint_{\partial v} \mathbf{t} \cdot \delta \mathbf{u} da \quad (5)$$

$\mathbf{P}$  : 1. Piola-Kirchhoff'sche Spannung

$\mathbf{S}$  : 2. Piola-Kirchhoff'sche Spannung

$\mathbf{F}$  : Deformationsgradient

$\boldsymbol{\sigma}$  : Cauchy'sche Spannung

$\delta \boldsymbol{\lambda}$  : virtuelle Lagrange'sche Verzerrung

$\mathbf{t}_0$  : Spannungsvektor, bezogen auf unverformtes Flächenelement

$\delta \mathbf{u}$  : virtuelle Verschiebung

$\delta \boldsymbol{\varepsilon}_U$  : virtuelle Verzerrung der Updated Lagrangian formulation

$\mathbf{t}$  : Spannungsvektor, bezogen auf verformtes Flächenelement

Fig. 9: Beherrschende Gleichungen der FEA für große Verschiebungen [4]

Hinsichtlich des Materialverhaltens kommt das Hooke'sche Gesetz zur Anwendung, wobei dies auf die entsprechenden Spannungsmaße verallgemeinert ist. Bei der Total Lagrangian formulation bedeutet dies, dass 2. Piola-Kirchhoff'sche Spannungen und Lagrange'sche Verzerrungen linear verknüpft sind. Im Falle der Updated Lagrangian formulation bilden die Cauchy'schen Spannungen einen linearen Zusammenhang mit den Euler'schen Verzerrungen. In beiden Fällen ist die Materialmatrix, die Spannungen und Verzerrungen verknüpft, konstant. Wird dieses lineare Materialverhalten in die Elementformulierungen eingebracht, ergibt sich ein Unterschied zwischen den beiden Elementformulierungen. Bei gleicher Belastung und gleichen Randbedingungen werden sich verschiedene Verschiebungslösungen ergeben. Diese Tatsache wurde bereits in [1] erkannt. In dem vorliegenden Beitrag soll untersucht werden, wie sich dieser Effekt bei der Anwendung auf Tellerfedern auswirkt.

Fig. 10 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen. Es wird deutlich, dass die beiden Elementformulierungen näherungsweise zu der gleichen Federkennlinie führen. Erst bei hohen Federkräften kann überhaupt ein Unterschied beobachtet werden, der auch dann noch sehr gering ist.



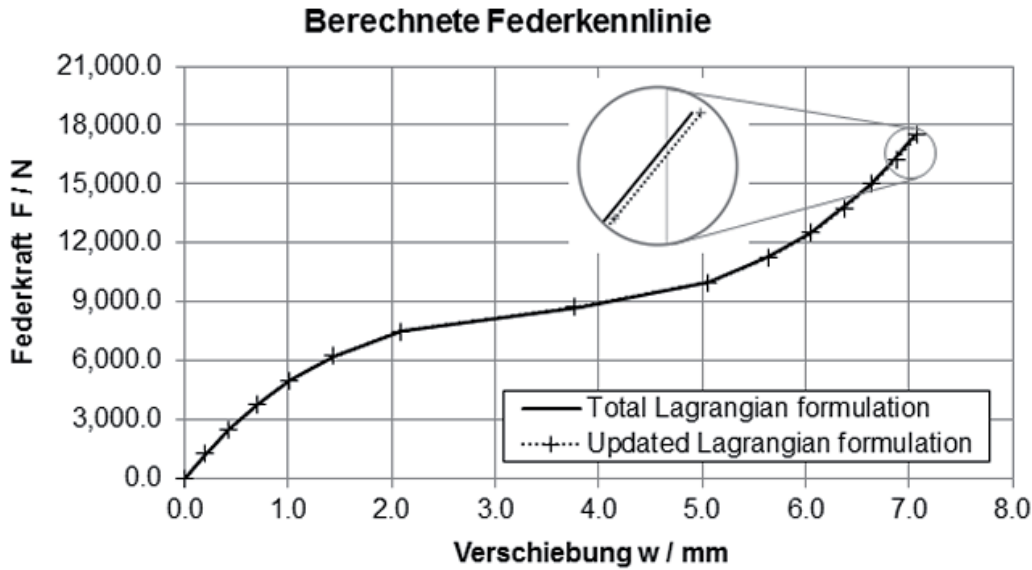


Fig. 10: Ergebnisse der FE-Rechnungen auf Basis der beiden Elementformulierungen

## 5 Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit den Simulationsergebnissen

Die mit Hilfe der 3D-Bildkorrelation gemessenen Federkennlinien und die berechneten Kraft-Weg-Kurven sind in Fig. 11 dargestellt. Im Anfangsbereich zeigt die gemessene Kurve geringere Kräfte als die berechnete. Dies ist vermutlich auf eine Einebnung der Oberflächenrauigkeit und kleine plastische Deformationen an der Lastangriffskante sowie der gelagerten Außenkante zurückzuführen.

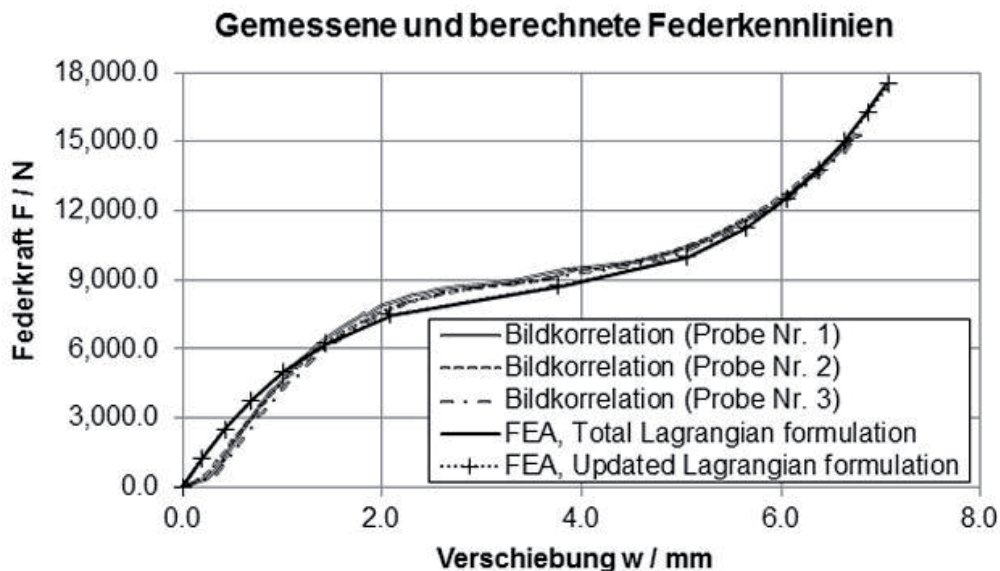


Fig. 11: Vergleich der Ergebnisse aus Bildkorrelation und Finite-Elemente-Analyse

In dem Bereich von 2 mm bis 5 mm Verschiebung sind die berechneten Kräfte geringer als die gemessenen. Diese Unterschiede können ab einer Verschiebung von  $w = 3.5$  mm aufwärts durch die Randbedingungen erklärt werden: bei 3.5 mm Verschiebung wird der Durchschlagspunkt erreicht, ab dem der äußere Lagerpunkt leicht nach innen wandert und der innere Lastangriffspunkt ebenso leicht nach außen. Es ändern sich die Kontaktpunkte der Tellerfeder, wodurch ein steiferes Verhalten resultiert. Dieser Effekt wurde bei den Berechnungen, die die hier gezeigten Ergebnisse liefern, nicht berücksichtigt. Untersuchungen in diese Richtung wurden in [9] durchgeführt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Verlauf der gemessenen Federkraft relativ gut mit dem berechneten Verlauf übereinstimmt.

## 6 Bewertung der Bildkorrelation zur Verifikation von Finite-Elemente-Berechnungen

Die 3D-Bildkorrelation stellt eine sehr interessante Möglichkeit zur Verifikation von FEA-Ergebnissen dar. Sie erlaubt es, die Deformation ganzer Oberflächen oder Linien zu messen und macht dadurch die Verifikation sicherer und vertrauenswürdiger. Außerdem ermöglicht Bildkorrelation die Messung von Verschiebungen solcher Punkte, die unter Umständen mit einer Messuhr gar nicht erreichbar sind. Aber Bildkorrelationsmessungen haben auch Nachteile. Die Bedienung eines Bildkorrelationssystems erfordert Erfahrung und oftmals sind mehrere Anläufe zur Probenpräparation nötig, bis man ein adäquates irreguläres Punktmuster erhält. Falls das Punktmuster beispielsweise zu viele große, homogene Bereiche enthält, lässt sich keine erfolgreiche Messung durchführen.

Außerdem müssen die Blenden der Kameras eingestellt werden, damit ein optimaler Kontrast resultiert. Schließlich ist die Größe der Messfläche durch die Auflösung der Kameras (hier: fünf Megapixel) limitiert. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die 3D-Bildkorrelation sehr gut geeignet ist, um Verifikationen mit hohen Anforderungen an Genauigkeit und Verlässlichkeit durchzuführen. Für überschlägige Verifikationen mit geringen Anforderungen sollte eine alternative Methode mit geringerem Messaufwand, z.B. eine Messung mit Messuhr, eingesetzt werden.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

3D-Bildkorrelationsmessungen von Tellerfedern wurden durchgeführt und deren Ergebnisse sind dargestellt worden. Hinsichtlich der Messungen wurden außerdem die Anforderungen an die Probenpräparation beschrieben und praktische Hinweise zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Experiment und Simulation gegeben. In diesem Zusammenhang erfolgte eine Beschreibung der erforderlichen Koordinatentransformationen, die gemessene Verschiebungen in das Koordinatensystem der Simulation umrechnen. Die experimentellen Ergebnisse wurden zur Verifikation von Finite-Elemente-Berechnungen verwendet, die auf zwei verschiedenen Elementformulierungen basieren. Die beiden Elementformulierungen führen zu Federkennlinien mit kleinen Unterschieden. Diese Unterschiede liegen in der Größenordnung der Messunsicherheit und daraus folgt, dass sie vernachlässigt werden können und beide Elementformulierungen zu näherungsweise gleichen Ergebnissen führen. In der Praxis bedeutet dies, dass die Total Lagrangian formulation und die Updated Lagrangian formulation gleichberechtigt für die Berechnung von Tellerfedern sind, beide liefern eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen. Weiterführende Betrachtungen könnten eine verbesserte Modellierung des Materialverhaltens anstreben. So könnten beispielsweise plastische Effekte beim Einfederungsvorgang in der Simulation berücksichtigt werden oder viskoelastische Berechnungen zur Lebensdauerabschätzung durchgeführt werden.

## 8 References

- [1] Bathe, K.-J.; Ramm, E.; Wilson, E.L.: „Finite Element Formulations for Large Displacement Dynamic Analysis“, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Bd. 9, 1975, S. 353-386
- [2] Parisch, H.: „Festkörperkontinuumsmechanik. Von den Grundgleichungen zur Lösung mit Finiten Elementen“, Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 2003
- [3] Rieg, F.: Internetseite des Finite-Elemente-Systems Z88, [www.z88.de](http://www.z88.de) (Datum des Zugriffs: 30.07.2013)
- [4] Wriggers, P.: „Nichtlineare Finite-Element-Methoden“, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [5] Limes: Internetseite des Limes Bildkorrelationssystems, [www.limes.com](http://www.limes.com), 2013
- [6] Beuth Verlag: „DIN 2092 – Tellerfedern. Berechnung“, Beuth Verlag, Berlin, 1992
- [7] Rieg, F.; Hackenschmidt, R.; Alber-Laukant, B.: „Finite Elemente Analyse für Ingenieure“, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, Wien, München, 2012
- [8] Schöberl, J.: Internetseite des automatischen Netzgenerators NETGEN, [www.hpfem.jku.at/netgen/](http://www.hpfem.jku.at/netgen/) (Datum des Zugriffs: 21.01.2013)
- [9] Nützel, F.; Wehmann, C.; Rieg, F.: „Kombination von geometrischer Nichtlinearität und Kontaktberechnung in der Antriebstechnik – verbesserte Finite-Elemente-Modellierung von Tellerfedern“, Kongress Simulation im Produktentwicklungsprozess SIMPEP, Würzburg/Veitshöchheim, 2011, S. 285-306

# Nichtlineare Dynamik einer TLP für Windturbinen – Verifizierung von Berechnungsergebnissen

Frank Adam, Frank Dahlhaus (Technische Universität Bergakademie Freiberg)

Jochen Großmann (Gicon Großmann Ingenieur Consult GmbH)

Wind als Energiequelle zu nutzen stellt eine mögliche Art der regenerativen Energiegewinnung dar. Um Offshore auch in großen Wassertiefen wirtschaftlich gründen zu können hat die Firma Gicon gemeinsam mit universitären Partnerinstituten und industriellen Kooperationspartnern ein schwimmendes Offshorefundament (SOF) entwickelt um Windenergieanlagen (WEA) in Wassertiefen von 20 bis 350 m zu gründen. Das gesamte Forschungsprojekt befindet sich gegenwärtig in der Phase der Umsetzung. Auch eine Lösung für 700 m Wassertiefe befindet sich zurzeit in der Entwicklungsphase.

Der aktuelle Fokus der Forschungsarbeiten liegt auf dem Vergleich berechneter Modellergebnisse mit Messwerten aus einem maßstäblichen Versuch. Zu diesem Zweck wurden Experimente mit einem skalierten Modell in einem Wellentank durchgeführt. Der Versuchsplan beinhaltete dabei Wellenlasten für fünf unterschiedliche Seegänge aus jeweils drei unterschiedlichen Anströmrichtungen.

Als Berechnungsprogramm kam Ansys Classic V14.0 zur Anwendung. Mit der Annahme eines Starrkörpersystems ist das dynamische Verhalten des schwimmenden Offshorefundaments (SOF) maßgeblich durch die für die Verankerung genutzten Seile, ihrem nichtlinearen Verhalten und der Abspanngeometrie, definiert. Um die Dynamik des Systems zu untersuchen erfolgte eine Eigenfrequenzstudie, bei der die Abspannwinkel der Seile und deren nichtlinearer E-Modul untersucht wurden.

Aus den Ergebnissen ergaben sich grundlegende Erkenntnisse zum dynamischen Verhalten des SOFs durch den Vergleich der gemessenen und berechneten Eigenfrequenzen. Um die Eigenfrequenzen aus den gemessenen Zeitsignalen zu ermitteln, kam eine Fast Fourier Transformation (FFT) zur Anwendung. Die Änderung der Frequenzen ist sowohl von der signifikanten Wellenhöhe, respektive der Wellenlast als Folge des nichtlinearen Seil E-Moduls, als auch von der Anordnung der Abspannseile abhängig.

## 1 Einleitung

In Anbetracht des Klimawandels und motiviert durch die Absichten zur Umsetzung eines weltweiten Konzepts zur umweltfreundlichen Energiegewinnung gibt es eine Vielzahl von Forschungsvorhaben mit dem Ziel der Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Nutzung von Energie aus regenerativen Energiequellen. Eine Möglichkeit dies umzusetzen ist die Wandlung von Windenergie in elektrische Energie. Neben den bekannten Onshoreanwendungen dieser Energietransformation soll eine Vielzahl von Offshorewindparks in den europäischen Gewässern installiert werden. Bei der Umsetzung dieser Offshorewindparks spielt die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. Es ist bekannt, dass mit zunehmender Wassertiefe Fundamente wie Jackets oder Monopiles unwirtschaftlich werden [8]. Dies führt zu einem enormen Potenzial für schwimmende Fundamente, welche im Unterschied zu den genannten festen Gründungen für diese Wassertiefen eine wirtschaftliche Alternative darstellen.

Zwei Arten schwimmender Fundamente wurden bereits installiert. Im Jahr 2009 erfolgte die Installation des SPARBOUY der Firma STATOIL und im Jahr 2011 wurde das Halbtaucherprojekt WINDFLOAT ausgeschwommen. Andere schwimmende Fundamente befinden sich zurzeit in unterschiedlichen Phasen der Planung und Umsetzung [2,10]. BUTTERFIELD et al. haben einen Vorschlag zur Unterscheidung schwimmender Gründungen entsprechend ihres Stabilisierungskonzepts veröffentlicht. Demnach ist kein bekanntes Konzept ausschließlich einem Stabilitätsprinzip zuzuordnen.

Gemäß der Klassifikation von BUTTERFIELD et al. ist das Gicon-SOF (Abb. 1) infolge permanent vorgespannter vertikaler und diagonaler Ankerseile, welche die Plattform mit dem Meeresboden verbinden, hauptsächlich dem abspannstabilisierten Konzept zuzuordnen [3].

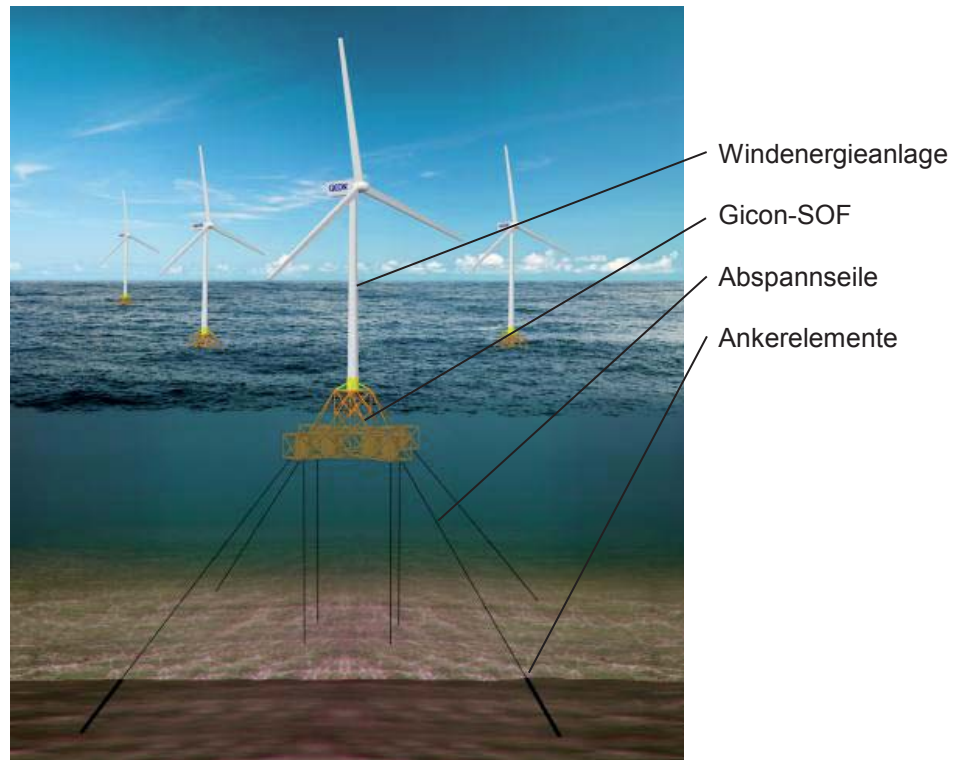


Abb. 1: Das Gicon-SOF

In Abhängigkeit der Seilanordnung und der Materialeigenschaften kann das SOF mit zusätzlichen geeigneten Abspannseilen sehr stabil sein und zeigt kaum Kopplungseffekte zwischen hydrodynamischen und aerodynamischen Lasten.

Unabhängig davon müssen für den Designprozess die Eigenfrequenzen zur Bestimmung des grundlegenden dynamischen Verhaltens des SOFs erfasst werden. Es gilt Resonanzerscheinungen im Betriebsbereich der Anlage zu vermeiden. Daher ist es wichtig bei der Eigenfrequenzermittlung den nichtlinearen Seil E-Modul und die nichtlinearen hydrodynamischen Massenbeiwerte zu berücksichtigen. Gemäß den Erkenntnissen von FEYRER zum nichtlinearem Seil E-Modul und den Erfahrungen von KEULEGAN und CARPENTER [7] bzgl. der hydrodynamischen Massenbeiwerte [4] erfolgte die Erstellung des Berechnungsmodells.

Im Unterschied zu JONKMAN und MATHA [6], welche das Programm FAST zur Berechnung einer SOF Struktur nutzen, wird Ansys zur Simulation des Gicon-SOF eingesetzt.

Grundlegende Erkenntnisse zum dynamischen Verhalten des SOFs konnten aus der Untersuchung zu den Eigenfrequenzen abgeleitet werden. Dabei beruhen die Eigenfrequenzänderungen zum einen auf der Veränderung der Lasten und dem damit zusammenhängenden Dehnungszustand der Seile. Zum anderen spielt der Abspannzustand, im Speziellen der Abspannwinkel der Diagonalseile, eine entscheidende Rolle.

## 2 Modell und Berechnungsmethoden

Die Konstruktion des Gicon-SOFs (Abb. 1) ist durch seine zylindrischen, in einem Raumtragwerk angeordneten, Auftriebskörper charakterisiert. Dieser schwimmfähige Starrkörper ist gegen einen Auftriebsüberschuss des SOFs im abgespannten Zustand durch das Seilwerk mit dem Meeresboden verspannt. Entsprechend dieser Konfiguration wird das dynamische Verhalten der Struktur maßgeblich durch die Seileigenschaften definiert. Zusätzlich zu den vertikalen Seilen, welche typisch für diese Plattformart sind, wird das Gicon-SOF mit diagonalen Seilen verspannt, die wiederum die Bewegungen des Systems infolge der horizontalen Lagerung einschränken. Entsprechend des ortsfesten Koordinatensystems, was sich am Übergang vom SOF zur Windenergieanlage befindet, lässt sich das Verhalten mit den Bewegungen des SOFs in Richtung der x-, y- und z-Achse und um diese Achsen beschreiben. Die x-Achse des kartesischen Rechtskoordinatensystem ist dabei immer parallel zur Welleneinflussrichtung ausgerichtet und die z-Achse ist kollinear zur Turmachse der WEA.



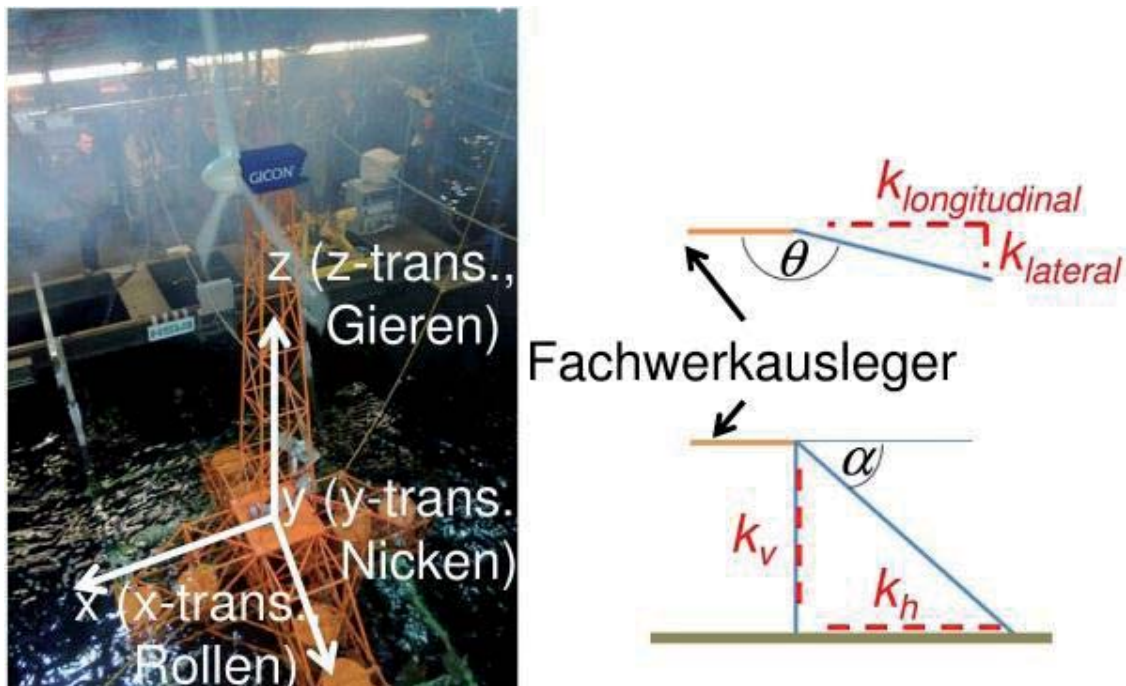


Abb. 2: Skaliertes Modell im Wellentank der HSVA

Das Abspannsystem ist maßgeblich durch die Abspannwinkel  $\alpha$  und  $\theta$  bestimmt. Dabei definiert  $\alpha$  den Neigungswinkel der Seillängsachse relativ zum Meeresspiegel und  $\theta$  den Schräkungswinkel zwischen der Seillängsachse und dem Auslegerarm der Plattform (Abb. 2). Eine Variation dieser Abspannwinkel bei konstanter Wassertiefe sollte Aufschluss über die Eigenfrequenzen des Gicon-SOFs mit vertikalen und diagonalen Seilen geben. Dabei ist es entscheidend, sowohl den nichtlinearen Seil E-Modul (Gln. 2) als auch die von der Re-Zahl und KC-Zahl abhängigen hydrodynamischen Massenbeiwerte zu berücksichtigen [1].

Die Durchführung der gesamten Berechnung erfolgte mit Ansys Classic V14.0. Die schwimmende Gründung und der Turm wurden mit sogenannten PIPE288 Elementen diskretisiert. Aus den Gondel- und Blattmassen ergaben sich die Vorgaben für die am Turmkopf definierten Massenelemente. Infolge der Konstruktion ergaben sich Zusatzmassen für die Fachwerkknoten, welche es durch zusätzliche Massenelemente zu berücksichtigen galt. Federelemente dienen zur Definition der Seile, wobei die Elemente nur Zugkräfte aufnehmen können und keine Biegesteifigkeit aufweisen. Außerdem wurde der Seil E-Modul  $E_s(F_s)$  in Abhängigkeit der Seilzugkraft entsprechend einer Seilzugmessung definiert (Abb. 4). Eingabegrößen für die Seildefinition sind die Seilquerschnittsfläche  $A$  und die ungedehnte Seillänge  $L_0$ . Gemäß der Definition kann eine Aufteilung der resultierenden Seilsteifigkeit

$$k_{Seil} = \frac{E_s(F_s) \cdot A}{L_0 + \Delta L} \quad (1)$$

bei Variation von  $\alpha$  in zwei Komponenten erfolgen. Diese sind die horizontalen und vertikalen Seilsteifigkeiten  $k_h$  und  $k_v$ . Bei Änderung von  $\theta$ , ergeben sich die Seilsteifigkeitskomponenten zu  $k_{longitudinal}$ , der Ankathetensteifigkeit und  $k_{lateral}$ , der Gegenkatheten-Steifigkeit (Abb. 3).

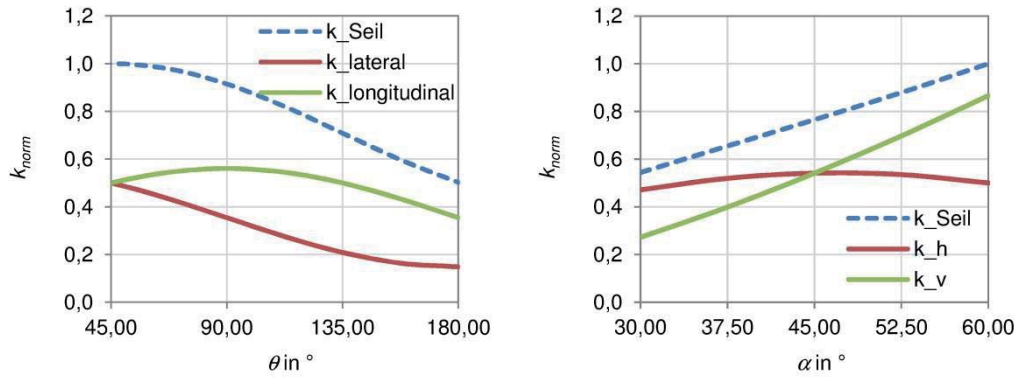


Abb. 3: Resultierende Seilsteifigkeit in Abhängigkeit der Abspannwinkel  $\alpha$  und  $\theta$  mit deren Komponenten

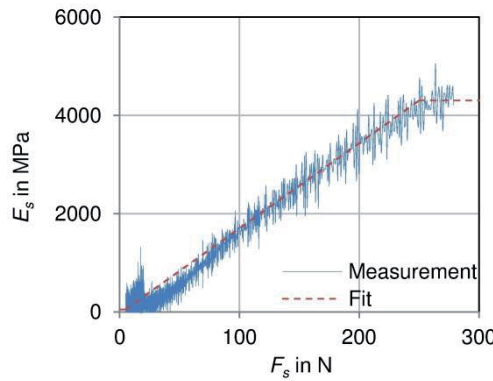


Abb. 4: Seil E-Modul in Abhängigkeit der Seilzugkraft

Gemäß der Messergebnisse aus den Seilzugversuchen für das skalierte Modellseil ergibt sich der Seil E-Modul zu:

$$E_s(F_s) = \begin{cases} 5 \text{ MPa}; & \text{für } F_s < 5 \text{ N} \\ 17.347 \frac{\text{MPa}}{\text{N}} \cdot F_s - 36.735 \text{ MPa}; & \text{für } 5 \text{ N} \leq F_s \leq 250 \text{ N} \\ 4300 \text{ MPa}; & \text{für } F_s > 250 \text{ N} \end{cases} \quad (2)$$

Zunächst erfolgte die Eigenwertanalyse unter Verwendung des LANCZOS Algorithmus für eine Variation von  $\alpha$  und  $\theta$ . Die gewonnenen Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Wahl zweier fester Abspannwinkel für das Modell unter Berücksichtigung der Resonanzeffekte. In der anschließenden Analyse folgte dann eine Belastung der Struktur durch Wellen, um eine Abhängigkeit der Eigenfrequenzen vom Verformungszustand  $\Delta L$  des Abspannseilwerks zu erfassen. Dabei erfolgte die Definition der Wellenlasten auf die Balkenelemente durch die MORISON Gleichung. Entsprechend dieser empirischen Ansatzfunktion galt es die unterschiedlichen Koeffizienten dieser Gleichung, wie den Widerstands- oder hydrodynamische Massenbeiwert zu definieren.

Doch bevor die Eigenfrequenzen ermittelt wurden, erfolgte generell eine quasistatische Analyse mit der Auftriebskraft als Vorlast, um das Abspannsystem vorzuspannen und den Gleichgewichtszustand einzustellen. Aus den resultierenden Reaktionskräften in den Seilen ergeben sich die Seil E-Module gemäß Gln. 2. Um den Seil E-Modul realitätsnah zu ermitteln erfolgte dazu eine Iteration zwischen der Seilreaktionskraft infolge der Auftriebskraft und dem Seil E-Modul mit dem Abbruchkriterium von 5 % Abweichung für das Inkrement des E-Moduls. Die folgenden Modalanalysen am vorgespannten System lieferten so realitätsnahe Ergebnisse für das verformte System unter Auftriebsbelastung und eignen sich für die Gewinnung grundsätzlicher Erkenntnisse zum Abspannsystem, respektive dem dynamischen Verhalten des SOF.

Außerdem wurden für das Wellentankmodell die Skalierungsgesetze nach FROUDE angewendet [9]. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen auf das Großmodell übertragbar.

Zur Validierung der Berechnungsergebnisse fanden Messergebnisse aus der HSVA Verwendung. Dazu erfasst das inertielle Lage Referenz System die translatorischen Beschleunigungen und rotatorischen Geschwindigkeitskomponenten des Modells. Das optische Bahnverfolgungssystem KRYPTON hat zusätzliche Informationen zur Modellbewegung gemessen und Kraftmessdosen an den Abspannseilen zeichnen die Seilkraft-Zeit-Abhängigkeit auf. Auf die gemessenen Bewegungszeitsignalen erfolgte die Anwendung einer Fast FOURIER Transformation (FFT). Unter Berücksichtigung der Frequenzanteile des Wellenspektrums in den Bewegungssignalen war es möglich die Eigenfrequenzen aus den, in den Frequenzbereich transformierten, Signalen zu selektieren [1].

### 3 Ergebnisse

Um die Ergebnisse vergleichbar abzubilden erfolgte eine Normierung der Frequenzen in Abhängigkeit der Abspannwinkel jeweils auf den Maximalwert der berechneten Ergebnisse im Wertebereich. Die Ergebnisse der berechneten Eigenfrequenzen sind für die Variation der Abspannwinkel in *Abb. 5* dargestellt. Die Bezeichnungen der Eigenfrequenzen ergeben sich durch Zuordnung der Eigenfrequenz zur Eigenform. Zeigt die Eigenform zum Beispiel eine Schwingung in Richtung der x-Achse wurde die Eigenfrequenz als x-trans. bezeichnet. Die Frequenz, welche eine Schwingung um die x-Achse anregt, wurde als Rollen definiert. Analog zu dieser Nomenklatur ergeben sich die anderen Bezeichnungen. Beim Vergleich der Frequenzabhängigkeiten, mit den Verläufen der Steifigkeitsanteile in Abhängigkeit von  $\alpha$  und  $\theta$  (*Abb. 3*), werden die dominierenden Effekte deutlich.

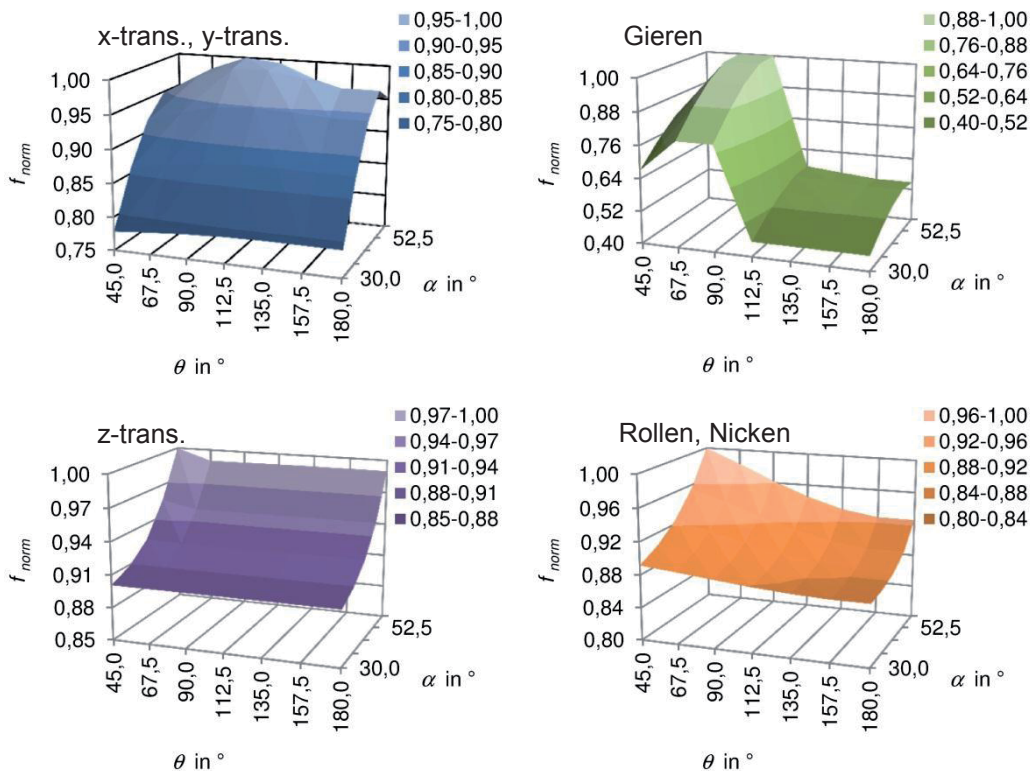


Abb. 5: Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von den Abspannwinkeln

Infolge der Symmetrie des Abspannsystems in Bezug auf die x-z und y-z Ebene zeigen sowohl die Frequenzen x-trans. und y-trans. als auch die Roll- und Nickfrequenz die gleichen Verläufe.

Die x-trans. und y-trans. Frequenzen steigen bis  $\alpha = 45^\circ$  an. Nach Erreichen des Maximums fallen sie wieder ab. Entsprechend der in *Abb. 3* dargestellten Steifigkeitskomponenten der Abspannseile ergibt sich für die x-trans. und y-trans. Eigenfrequenz eine Dominanz der horizontalen Komponente  $k_h$ . Der Verlauf in Abhängigkeit des Winkels  $\theta$  zeigt ein Maximum bei  $\theta = 90^\circ$ . Dieses Verhalten korreliert mit der Steifigkeitskomponente  $k_{lateral}$ .

Für die Abhängigkeit von  $\alpha$  zeigt die Gierfrequenz ein ähnliches Verhalten wie die x-trans. und y-trans. Frequenzen. Auch hier dominiert die  $k_h$  Komponente mit einem Maximum bei  $\theta = 45^\circ$ . Doch markant ist die Abhängigkeit der Frequenz vom Winkel  $\theta$ . Zwar wird der Verlauf von  $k_{lateral}$  dominiert, zeigt aber einen rapiden Abfall für  $\theta > 90^\circ$ . Dieser Verlauf ist mit der schlagartig sinkenden Rotationssteifigkeit zu begründen, was mit dem Herausdrehen der Seile aus dem optimalen Wirkungsbereich gegen Rotation einhergeht. Dieses Phänomen gilt es unbedingt bei der Auslegung der Struktur zu berücksichtigen.

Wie zu erwarten zeigt die z-trans. Frequenz in Abhängigkeit von  $\alpha$  eine Dominanz der vertikalen Steifigkeitskomponente  $k_v$ . In Abhängigkeit von  $\theta$  weist diese Frequenz nur eine marginale Änderung auf.

Ähnlich wie die z-trans. Frequenz zeigten die Roll- und Nickfrequenzen eine Dominanz der vertikalen Steifigkeitskomponente  $k_v$  für die Abhängigkeit von  $\alpha$ . Dieser ansteigende Trend ist mit dem Anstieg der vertikalen Steifigkeit des Abspannsystems für größere Winkel  $\alpha$  zu erklären. Der Abfall der Eigenfrequenz in Abhängigkeit von  $\theta$  ergibt sich aus der Dominanz der horizontalen Steifigkeitskomponente  $k_{longitudinal}$ .

Grundsätzlich zeigen alle Frequenzen einen mit den Steifigkeitskomponenten der Seile begründbaren Zusammenhang.

Die gewonnen Erkenntnisse aus der Winkelstudie fanden bei der Bemessung des Gicon-SOFs Berücksichtigung, sodass in Abhängigkeit der Erregerfrequenzen und der Resonanzeffekte eine feste Winkelkonfiguration für den Bau der Anlage gewählt wurde. Für diese konstanten Abspannwinkel  $\alpha$  und  $\theta$  erfolgte eine Belastung des Modells mit stetig steigenden Wellenlasten. Das Ergebnis ist in Abb. 6 zu sehen.

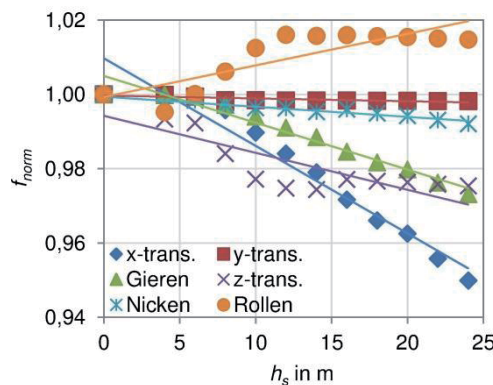


Abb. 6: Eigenfrequenzen in Abhängigkeit der Wellenlasten respektive der signifikanten Wellenhöhe

Der Zusammenhang zwischen den Eigenfrequenzen und der Wellenbelastung ist mit der Seildehnung infolge höherer Wellenlast zu erklären. Durch größere Lasten dehnen sich die Seile. Entsprechende Längenänderungen führen zu einer Minimierung der effektiv wirkenden Seilsteifigkeit. Daraus folgt, dass die x-trans., Nick- und Giereigenfrequenzen eine fallende Tendenz aufweisen. Aufgrund der gewählten Abspannwinkel und der oben erwähnten Symmetrie des Abspannsystems zeigen die y-trans. und Rollfrequenzen keine oder nur wenige Änderungen bei steigenden Lasten. Sobald keine Symmetrie der Abspannung mehr vorliegt, ergeben sich andere Eigenfrequenz-Verläufe in Abhängigkeit der Wellenlast.

Um die gewonnen Erkenntnisse aus den Simulationen zu validieren, wurden die Ergebnisse für einen Lastfall mit jenen aus den Messergebnissen der HSVA verglichen (Abb. 7). Ein Vergleich der z.-trans. Frequenz war nicht möglich, da diese Frequenz aus den Messergebnissen nicht extrahierbar war.



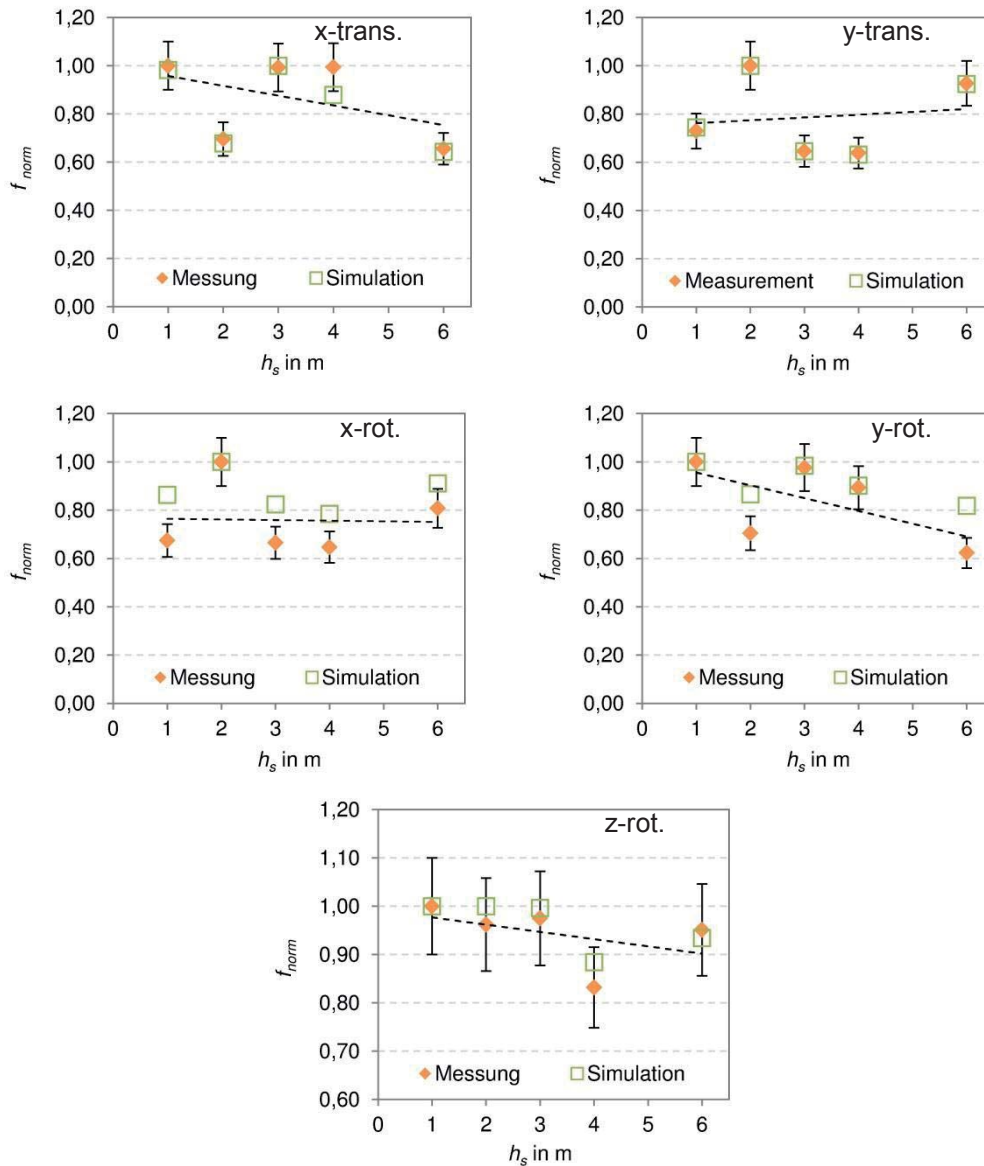


Abb. 7: Vergleich der gemessenen Frequenzen mit den Berechnungsergebnissen

Der Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Eigenfrequenzen. Auch die von der Wellenlast abhängige Änderung der Frequenzen wurde durch die Messungen bestätigt. Entsprechend ist der Validierungsprozess des Modells als erfolgreich zu betrachten.

#### 4 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde das Gicon-SOF als ein innovatives System zur Gründung von Offshorewindenergieanlagen in Wassertiefen zwischen 20 und 350 m vorgestellt. Erkenntnisse aus dem Vergleich gemessener mit berechneten Daten bilden dabei die Grundlage der Forschungsarbeiten.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass die Eigenfrequenzen des SOF zur Beschreibung der dynamischen Eigenschaften des Systems maßgeblich von den Abspannwinkeln der Diagonalseile abhängig sind und ein belastungsabhängiges Verhalten vorliegt. Ein Hauptgrund dafür ist die Nichtlinearität des Seil E-Moduls.

Die markante Abhängigkeit der Eigenfrequenzen des Systems mit vorgespannten Seilen gibt dem Ingenieur die Möglichkeit ein System, das kaum Resonanzen in Bezug auf Erregerfrequenzen wie die des Windes oder der Welle zeigt, zu entwerfen. Im Gegensatz zu herkömmlichen TLPs weist das Gicon-SOF eine größere Abspannsteifigkeit auf und bietet so dem Anlagenplaner zusätzliche Sicherheiten für die zu verwendende WEA. Außerdem weisen die zusätzlichen diagonalen Seile, bei Variation der Abspannwinkel, eine Vielzahl von Möglichkeiten auf, um das Gesamtsystem entsprechend der Belastungsfrequenzen abzustimmen.

Die experimentellen Ergebnisse sind konsistent mit den berechneten Ergebnissen. Die Installation eines Funktionsmusters im Großmaßstab ist für das Jahr 2014 in der Ostsee geplant.

## 5 Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern der HSVA für die Durchführung der Messungen und die fachliche Unterstützung bei der Bewertung der Versuchsergebnisse.

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages (VP 2652102 WZ0).

## 6 Literatur

- [1] Adam, F., Steinke, C., Dahlhaus, F. and Großmann J. (2013) "Gicon-TLP<sup>®</sup> for wind turbines - Verification of calculated results", Proc. ISOPE 2013, Anchorage.
- [2] Bossler, A. (2012). "Floating Offshore Wind Foundations: Industry Consortia and Projects in the United States, Europe and Japan". Technical report, Main(e) International Consulting LLC.
- [3] Butterfield, S., Musial, W., Jonkman, J., and Sclavounos, P. (2005). "Engineering challenges for floating offshore wind turbines". Proc. Offshore Wind Conference Copenhagen.
- [4] Clauss, G. (1988). Meerestechnische Konstruktion. Springer
- [5] Feyrer, K. (2000). Drahtseile - Bemessung, Betrieb, Sicherheit. Springer.
- [6] Jonkman, J. and Matha, D. (2009). "A Quantitative Comparison of the Responses of Three Floating Platforms". Conference Report NREL/CP- 46726.
- [7] Keulegan, G. and Carpenter, L. (1958). "Forces on cylinders in an oscillating fluid". J. Res. Nat. Bur. Standards, 60:423 – 440.
- [8] Musial, W., Butterfield, S., and Ram, B. (2006). "Energy from offshore wind". Proc. Offshore Wind Conference Houston.
- [9] Schneekluth (1977). Hydromechanik zum Schiffsentwurf. Koehler.
- [10] Schuldt, B. (2006). "Schwimmende Fundamentierung als Alternative für große Wassertiefen". Schiff & Hafen (Offshore Technik), Vol 010/06:p.99 ff.

## 7 Autoren

Frank Adam, Frank Dahlhaus  
 Technische Universität Bergakademie Freiberg  
 Institut für Bergbau und Spezialtiefbau  
 Lehrstuhl für Baukonstruktion und Massivbau  
 Gustav-Zeuner-Straße 1 A,  
 09599 Freiberg, Deutschland

Jochen Großmann  
 Gicon Großmann Ingenieur Consult GmbH  
 Tiergartenstraße 48  
 01219 Dresden, Deutschland

Bitte per Post oder Fax senden:

Tel.: +49 (0) 80 51 - 96 59 3 49

Fax: +49 (0) 80 51 - 96 74 3 37

e-mail: [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de)

Adresse für Fensterkuvert

NAFEMS GmbH  
Osterham 23D-83233 Bernau am Chiemsee  
Germany

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (3/2013)

 Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft      | <input type="checkbox"/> Anzeigenmarkt                        |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare            | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen        |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse      | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress 2015           |

 Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf. Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten). Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

---

 Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu. Ich interessiere mich für [www.CAE-Stellenmarkt.de](http://www.CAE-Stellenmarkt.de). Bitte kontaktieren Sie uns.

### Absender

Firma: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

### Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

# NAFEMS Online-Magazin

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH  
Osterham 23  
D-83233 Bernau am Chiemsee, Germany

Tel. +49 (0) 80 51 – 96 59 3 49  
Fax +49 (0) 80 51 – 96 74 3 37  
e-mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

[www.nafems.org/magazin](http://www.nafems.org/magazin)

ONE  
ASSOCIATION  
1 0 0 0 M E M B E R  
O R G A N I S A T I O N S

ONE  
VISION  
3 0 0 T E C H N I C A L  
G R O U P P A R T I C I P A N T S

ONE  
COMMUNITY  
O V E R 3 0 0 0  
E V E N T A T T E N D E E S

ONE  
NAFEMS  
T H E I N T E R N A T I O N A L  
A S S O C I A T I O N F O R  
T H E E N G I N E E R I N G  
A N A L Y S I S C O M M U N I T Y



[www.nafems.org](http://www.nafems.org)